

**UNIVERSITÀ DI PISA**

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI



TESI DI LAUREA MAGISTRALE

# Applicazione alla rete mobile del paradigma NFV per applicazioni M2M

Relatori:

*Prof.* **Stefano Giordano**

*Prof.* **Rosario Giuseppe Garroppo**

Tutor aziendale:

*Ing.* **Claudio Marini**

Candidato:

**Calogero Cannizzaro**

ANNO ACCADEMICO 2013-2014

## **Riassunto analitico**

Questo lavoro interpreta una possibile declinazione del paradigma NFV, inteso come possibilità d'implementare in ambiente software, utilizzando macchine virtuali, funzioni e componenti della rete mobile che allo stato dell'arte richiedono l'impiego di hardware dedicato.

L'impiego di componenti software open source ha permesso la modifica e l'adattamento delle funzionalità di rete alle caratteristiche del *Machine to Machine*.

Nell'ambito di questo lavoro di tesi, è stato modificato l'HLR, componente della core network deputata alla gestione dei dati degli utenti e delle relative SIM, per affrontare il problema dello spreco di numeri telefonici associati alle SIM M2M. La nuova configurazione proposta permette di gestire separatamente le informazioni relative al subscriber e quelle relative alle SIM M2M, fornendo la possibilità di associare più SIM M2M ad uno stesso subscriber ed identificando tali SIM solo tramite IMSI.

## **Prefazione**

Le reti cellulari sono progettate per le comunicazioni interattive Human to Human (voce, video) e per comunicazioni dati che prevedono il coinvolgimento dell'uomo (web browsing, download di file ecc); pertanto sono ottimizzate per le caratteristiche di traffico tipiche di questi scenari:

- Comunicazioni con una certa durata (sessione) ed un certo volume di dati
- Comunicazioni interattive (parlare/ascoltare).

Le comunicazioni M2M sono differenti perché inviano sporadici pacchetti dati utilizzando quindi l'infrastruttura di rete mobile in maniera non efficiente. Nasce quindi l'esigenza di ottimizzare le risorse allocate in tali scenari mediante la virtualizzazione delle reti di comunicazione permettendo una riduzione dei costi di installazione, una maggiore flessibilità nell'allocazione dinamica delle risorse e la possibilità di riutilizzare l'infrastruttura virtuale in differenti applicazioni verticali. I servizi M2M che utilizzano la rete mobile, generano traffico con caratteristiche diverse da quello generato dalla comunicazione H2H. Questo è il motivo per il quale tale traffico non può essere smaltito da un unico modello di networking. Ad esempio, se il M2M viene applicato per monitorare e prevenire le catastrofi naturali, un grande numero di dispositivi M2M può tentare l'accesso alla rete simultaneamente. Poiché i dispositivi M2M, prima di avviare la vera e propria trasmissione dei dati, generano traffico di segnalazione per identificarsi e connettersi ad una rete mobile, quest'ultima deve possedere elevata capacità di segnalazione e di elaborazione, anche se il "payload" è minimo. Al contrario, per applicazioni di videosorveglianza il numero di dispositivi è piccolo, ma la richiesta di larghezza di banda è molto alta. D'altro canto, applicazioni come la tele-misurazione sono basate su strumenti di misura posizionati su dispositivi caratterizzati da bassa mobilità e che quindi non necessitano di una complessa gestione della mobilità. I dispositivi M2M utilizzano pertanto le risorse della rete mobile in maniera molto diversa rispetto agli usuali terminali mobili a causa delle specifiche caratteristiche che contraddistinguono le varie applicazioni. Tali caratteristiche possono comportare un uso poco efficiente della rete e/o problemi di congestione e sovraccarico. È proprio in questo contesto che si possono applicare i concetti della Network Function Virtualization, rendendo più flessibile l'attuale rete mobile per applicazioni M2M ed in futuro anche dando vita ad una rete mobile ad-hoc per questo tipo di applicazioni. Le possibili declinazioni del paradigma NFV in questo tipo di applicazioni sono essenzialmente due: la prima riguarda la modifica e l'adattamento degli elementi e delle procedure della rete mobile in accordo con le caratteristiche del traffico M2M; la seconda invece riguarda la possibilità di allocare dinamicamente le risorse della rete a seconda della mole di traffico da smaltire.

## Sommario

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Riassunto analitico .....</b>   | <b>2</b>  |
| <b>Prefazione .....</b>  | <b>3</b>  |
| <b>Glossario .....</b>   | <b>7</b>  |
| <b>Indice delle figure .....</b>   | <b>11</b> |
| <b>1 Network Function Virtualization .....</b>                                   | <b>12</b> |
| 1.1 Framework NFV di riferimento .....   | 12        |
| 1.2 Principali vantaggi.....   | 13        |
| 1.2.1 Nuove sfide .....  | 14        |
| 1.3 NFV e SDN.....   | 14        |
| 1.4 Casi d'uso.....  | 15        |
| 1.4.1 Caso d'uso #1: Virtualizzazione della “ <i>Mobile Core Network</i> ” ..... | 15        |
| 1.4.2 Caso d'uso #2: Virtualizzazione della “ <i>Mobile Base Station</i> ” ..... | 17        |
| <b>2 Machine to Machine.....</b>   | <b>20</b> |
| 2.1 Cos'è il M2M? .....  | 20        |
| 2.2 Analisi di mercato .....   | 21        |
| 2.2.1 Il M2M oggi.....   | 21        |
| 2.2.2 Il M2M domani .....  | 21        |
| 2.2.3 Benefits .....   | 21        |
| 2.2.4 Il mercato mondiale .....  | 22        |
| 2.2.5 Il mercato italiano .....  | 25        |
| 2.2.6 La catena del valore .....   | 27        |
| 2.3 Applicazioni del M2M.....  | 28        |
| 2.3.1 Logistica e trasporti.....   | 29        |
| 2.3.2 Produzione industriale .....   | 30        |
| 2.3.3 Beni di consumo intelligenti .....   | 30        |
| 2.3.4 Commercio e POS.....   | 31        |
| 2.3.5 Medicina e wellness.....   | 32        |
| 2.3.6 Security .....   | 33        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 2.3.7    | Settore energia .....   | 35        |
| <b>3</b> | <b>Architettura M2M .....</b>                                       | <b>36</b> |
| 3.1      | M2M Device Domain .....   | 36        |
| 3.1.1    | M2M device .....  | 36        |
| 3.1.2    | M2M Area Network .....  | 36        |
| 3.1.3    | M2M Gateway .....   | 37        |
| 3.2      | Network Domain .....  | 37        |
| 3.2.1    | M2M Communication Networks .....                                    | 37        |
| 3.3      | Applications Domain .....   | 37        |
| 3.3.1    | M2M Applications .....  | 37        |
| 3.4      | Comunicazione M2M su rete mobile .....                              | 37        |
| 3.4.1    | Proprietà e requisiti delle applicazioni M2M .....                  | 38        |
| 3.4.2    | Architettura M2M su rete cellulare mobile .....                     | 38        |
| <b>4</b> | <b>M2M e NFV su rete mobile.....</b>                                | <b>40</b> |
| 4.1      | Importanza di NFV in ambito M2M.....                                | 40        |
| 4.2      | Traffico Web, mobile, M2M: radiografia di un'esplosione .....       | 41        |
| 4.3      | Mobile network pronte per il M2M .....                              | 42        |
| 4.4      | Architettura M2M su rete mobile .....                               | 45        |
| 4.4.1    | Connettività Single-hop.....  | 45        |
| 4.4.2    | Architettura Two-hop con Gateway M2M.....                           | 46        |
| 4.5      | Benefici dall'utilizzo dell'NFV nella Mobile Core .....             | 46        |
| 4.6      | Mobile Core Network a pacchetto .....                               | 47        |
| 4.7      | Soluzioni proposte da diversi vendor .....                          | 49        |
| <b>5</b> | <b>Funzioni di rete ottimizzabili per applicazioni M2M.....</b>     | <b>54</b> |
| 5.1      | Problema: gestione della bassa mobilità .....                       | 54        |
| 5.1.1    | Soluzione 1: ottimizzazione del Paging.....                         | 54        |
| 5.1.2    | Soluzione 2: ottimizzazione delle procedure di <i>LAU/RAU</i> ..... | 56        |
| 5.2      | Problema: elevato traffico di segnalazione.....                     | 57        |
| 5.2.1    | Soluzione 1: Raggruppamento dei dispositivi M2M.....                | 57        |
| 5.2.2    | Soluzione 2: Request Reject da parte del SGSN .....                 | 57        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 5.2.3    | Soluzione 3: Low Priority Access Indication.....  | 59        |
| 5.2.4    | Soluzione 4: Controllo sovraccarico con <i>access grant time interval</i> .....               | 60        |
| 5.2.5    | Soluzione 5: Allocazione flessibile delle risorse di rete .....                               | 61        |
| <b>6</b> | <b>Soluzioni Open Source per la realizzazione software di elementi della rete mobile.....</b> | <b>62</b> |
| 6.1      | Osmocom .....   | 62        |
| 6.1.1    | OpenBSC .....   | 62        |
|          | Osmo-NITB.....  | 62        |
|          | Osmo-BSC .....  | 62        |
| 6.1.2    | OsmoSGSN / OpenGGSN.....  | 62        |
| 6.1.3    | SGSNemu .....   | 63        |
| 6.1.4    | OsmoBTS.....  | 63        |
| 6.1.5    | OsmocomBB .....   | 63        |
| 6.2      | OpenSS7 Project.....  | 63        |
| 6.2.1    | GSM/MAP HLR GPRS .....  | 63        |
| 6.3      | OpenBTS.....  | 63        |
| <b>7</b> | <b>Implementazione della rete .....</b>   | <b>64</b> |
| 7.1      | Strumenti utilizzati.....   | 64        |
|          | BTS .....   | 65        |
|          | VM-NITB.....  | 65        |
|          | VM-SGSN.....  | 66        |
|          | VM-GGSN .....   | 66        |
| 7.2      | Comunicazione tra le varie componenti .....   | 66        |
| <b>8</b> | <b>Modifica dell'HLR.....</b>   | <b>68</b> |
| 8.1      | HLR originale.....  | 69        |
| 8.2      | HLR modificato .....  | 69        |
|          | <b>Conclusioni .....</b>  | <b>72</b> |
|          | <b>Bibliografia.....</b>  | <b>73</b> |
|          | <b>Appendice .....</b>  | <b>74</b> |

## **Glossario**

**ANDSF:** Access Network Discovery and Selection Function

**APN:** Access Point Name

**ARPU:** Average Revenue Per Unit

**AUC:** Authentication Center

**BBU:** Base Band Unit

**bCall:** Breakdown call.

**BSC:** Base Station Controller

**BSS:** Base Station Subsystem

**BTS:** Base Transceiver Station

**CGI:** Cell Global Identifier

**COTS:** Commercial Off-The-Shelf

**DB:** Data Base

**DECT:** Digital Enhanced Cordless Telecommunication è un sistema di telefonia cordless

**eCall:** Emergency call

**ECG:** elettrocardiogramma.

**EDGE:** Enhanced Data rates for GSM Evolution

**EIR:** Equipment Identity Register

**eNB:** eNodeB è un termine usato nell'UMTS per denotare la BTS (stazione radio base).

**EPC:** Evolved Packet Core

**ETSI:** European Telecommunications Standards

**Gateway:** è un dispositivo di rete che opera al livello di rete e superiori del modello ISO/OSI. Il suo scopo principale è quello di veicolare i pacchetti di rete all'esterno di una rete locale (LAN).

**GGSN:** Gateway GPRS Support Node

**GMR:** Geo Mobile Radio è uno standard per la telefonia satellitare

**GPRS:** General Packet Radio Service

**GSM:** Global System for Mobile Communications

**GTP:** GPRS Tunneling Protocol

**HLR:** Home Location Register

**HSS/AAA:** Home Subscriber Service. È un database centrale che contiene informazioni sui clienti e si occupa della loro autenticazione ed autorizzazione all'accesso.

**IMS:** IP Multimedia Subsystem è un modello architetturale per le reti di telecomunicazione. Questa architettura è stata progettata per la convergenza di tutti i dispositivi di telecomunicazioni (fissi e mobili) su un'infrastruttura basata su rete IP che sia capace di fornire servizi voce e multimediali.

**IMSI:** International Mobile Subscriber Identity

**ISDN:** Integrated Services Digital Network

**ISG:** Industry Specification Group

**LAU:** Location Area Update

**LTE:** Long Term Evolution

**MAC:** Medium Access Control

**Middleware:** si intende un insieme di programmi informatici che fungono da intermediari tra diverse applicazioni e componenti software. Sono spesso utilizzati come supporto per sistemi distribuiti complessi.

**MME:** Mobility Management Entity

**MNO:** Mobile network operator

**MS:** Mobile Station

**MSC:** Mobile Switching Center

**MSISDN:** Mobile Station International Subscriber Directory Number

**NFV:** Network Function Virtualization

**NFVI:** NFV Infrastructure



**PBX:** Private Branch eXchange è una centrale telefonica per uso privato. È principalmente usato nelle aziende per fornire una rete telefonica interna

**PCRF:** Policy and Charging Rules Function. È un nodo software che determina le regole di policy in una rete.

**PDCP:** Packet Data Convergence Protocol

**PDN:** Public Data Network, è una rete a circuito o a commutazione di pacchetto che è disponibile al pubblico.

**PGW:** Packet Data Network Gateway protocols, fornisce connettività fra un UE e la rete. Rappresenta il punto d'ingresso e d'uscita del traffico per un UE.

**RAI:** Routing Area Identification

**RAN:** Radio Access Network

**RAU:** Routing Area Update

**RLC:** Radio Link Control

**RRC:** Radio Resource Control

**SAI:** Service Area Identifier

**SDN:** Software Defined Network

**SDR:** Software Defined Radio

**SGSN:** Serving GPRS Support Node

**SGW:** Serving Gateway protocols, instrada ed inoltra i pacchetti dati degli utenti.

**SIGTRAN:** SIGnaling TRANsport

**SIM:** Subscriber Identity Module

**SM:** Session Management

**SS7:** Signaling System #7

**TAI:** Tracking Area Identity

**TCO:** Total Cost of Ownership

**Telnet:** Protocollo di rete utilizzato per fornire all'utente sessioni di login remoto di tipo riga di comando tra host su internet.

**TETRA:** TERrestrial Trunked Radio è uno standard di comunicazione a onde radio usato principalmente dalle forze di pubblica sicurezza e militari e dai servizi di emergenza.

**TIMSI:** Temporary International Mobile Subscriber Identity

**UE:** User Equipment

**UMTS:** Universal Mobile Telecommunications System,

**VLR:** Visitor Location Register

**VoIP:** Voice over IP

**VoLTE:** Voice over LTE

**vPGW:** Virtualized PGW

**vSGSN:** Virtualized SGSN

**vSGW:** Virtualized SGW

**Wi-Fi:** Wireless Fidelity

**WiMAX:** Worldwide Interoperability for Microwave Access è una tecnologia e uno standard tecnico di trasmissione che consente l'accesso di tipo wireless a reti di telecomunicazioni a banda larga.

**WLAN:** Wireless local area network, indica una rete locale (Local Area Network o in sigla LAN) che sfrutta la tecnologia wireless, invece di una connessione cablata via cavo. In altre parole: con la sigla WLAN si indicano genericamente tutte le reti locali di computer che non utilizzano dei collegamenti via cavo per connettere fra loro gli host della rete.

**xDSL:** Digital Subscriber Line è una famiglia di tecnologie che fornisce trasmissione digitale di dati attraverso l'ultimo miglio della rete telefonica fissa, ovvero su doppino telefonico dalla prima centrale di commutazione fino all'utente finale e viceversa. Le varie tecnologie DSL si differenziano tra loro in base alla simmetricità/asimmetricità delle bande deputate all'upload e al download e/o alla velocità di trasmissione offerta all'utente nelle due rispettive bande.

## Indice delle figure

|   |    |
|---|----|
| Figura 1: Framework NFV di alto livello.....  | 12 |
| Figura 2: Confronto tra il modello di rete (basato su hardware dedicati) e il nuovo modello(basato su funzioni virtualizzate e hardware standard) ..... | 14 |
| Figura 3: confronto tra virtualizzazione parziale e virtualizzazione completa .....   | 16 |
| Figura 4: Previsioni numero dispositivi M2M connessi .....  | 22 |
| Figura 5: numero di connessioni per operatore .....   | 24 |
| Figura 6: Numero di connessioni M2M per area geografica (fonte: Berg Insight) .....   | 24 |
| Figura 7: Previsione sviluppo tematiche 2020 (fonte: Analysys Mason) .....  | 25 |
| Figura 8: Servizi M2M sul mercato italiano per area di applicazione .....   | 25 |
| Figura 9: Servizi M2M per target .....  | 27 |
| Figura 10: La catena del valore del M2 .....  | 27 |
| Figura 11: Device M2M connessi ad un server M2M per gestire la flotta.....  | 29 |
| Figura 12: Device M2M connessi ad un server per informazioni sul traffico .....   | 30 |
| Figura 13: Controllo remoto di elettrodomestici .....   | 31 |
| Figura 14: gestione delle scorte delle vending machine e delle stampanti .....  | 32 |
| Figura 15: sensori indossabili.....   | 33 |
| Figura 16: sorveglianza remota.....   | 34 |
| Figura 17: configurazione tipica di smart metering .....  | 35 |
| Figura 18: Architettura M2M.....  | 36 |
| Figura 19: confronto proprietà e requisiti tra diverse applicazioni .....   | 38 |
| Figura 20: architettura rete cellulare.....   | 38 |
| Figura 21: connessioni globali M2M 2011-2022 [Machina Research, 2012] .....   | 40 |
| Figura 22 Architettura M2M su rete mobile .....   | 45 |
| Figura 23: architettura logica della core network mobile a pacchetto .....  | 47 |
| Figura 24: Installazione degli elementi OpenBSC su macchine virtuali .....  | 64 |
| Figura 25: Architettura completa della rete.....  | 65 |
| Figura 26: VM-SGSN .....  | 67 |
| Figura 27: Traccia <i>Wireshark</i> .....   | 67 |
| Figura 28: Schema HLR originale: tabella subscriber.....  | 69 |
| Figura 29: Schema HLR modificato: tabelle subscriber e SIM_M2M.....   | 70 |
| Figura 30: SIM M2M associate ad un subscriber tramite l'interfaccia Telnet. Il DB è visualizzato utilizzando il tool <i>sqlitebrowser</i> .....         | 71 |

# 1 Network Function Virtualization

Le attuali reti di telecomunicazione sono costituite da una grande varietà di apparati hardware dedicati e proprietari che svolgono specifiche funzioni di rete. Per lanciare un nuovo servizio gli operatori devono quindi progettare o acquistare un nuovo apparato fisico dedicato, che richiede spazio, energia e cablatura e che è spesso complesso da integrare nella rete già esistente. Il ciclo di vita degli apparati hardware sta inoltre diventando molto breve rispetto all'innovazione dei servizi.

La Network Function Virtualisation (NFV) rappresenta un nuovo modello per progettare, sviluppare e gestire i servizi di rete. Propone l'impiego di tecniche di virtualizzazione per implementare le funzioni di rete su componenti hardware standard invece che apparati fisici dedicati.

## 1.1 Framework NFV di riferimento

Nel 2012 è stato costituito un gruppo di lavoro ,*Industry Specification Group* (ISG), all'interno dell'*European Telecommunications Standards Institute* (ETSI) per definire il paradigma NFV. L' ISG ha individuato un'architettura di alto livello che descrive le entità coinvolte e le macro funzioni da esse svolte (Figura 1).

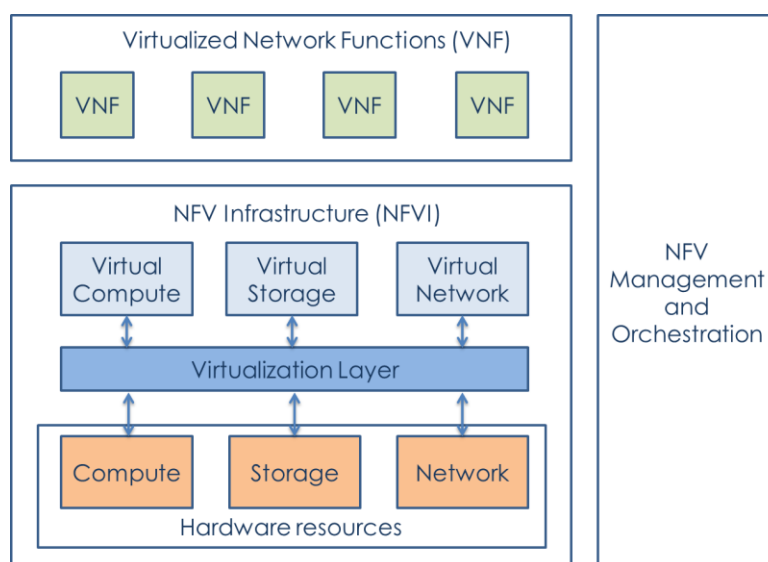


Figura 1: Framework NFV di alto livello

Le funzioni di rete (NF) sono viste come entità puramente software che girano su un'infrastruttura virtualizzata (NFVI). L'ETSI ha identificato tre principali domini di lavoro (ETSI GS NFV 002 V1.1.1 2013-10) :

- **VNF (Virtualized Network Function).** Implementazione software delle funzioni di rete in grado di essere eseguite sull'infrastruttura NFVI.
- **NFVI (NFV infrastructure).** Include le differenti risorse fisiche e le modalità con cui tali risorse possono essere virtualizzate. Supporta l'esecuzione delle funzioni di rete virtualizzate.
- **NFV management and Orchestration.** Gestisce e coordina il ciclo di vita delle risorse hardware e software, relative sia all'infrastruttura di virtualizzazione sia alle funzioni di rete virtualizzate.

## 1.2 Principali vantaggi

La Figura 2 mostra il confronto tra il modello di rete classico orientato a funzioni hardware-based e il nuovo modello di rete orientato a funzioni software-based virtualizzate. L'utilizzo di tecniche di virtualizzazione permette agli operatori di rete di ottenere vantaggi in termini di *Capital Expenditures* (**CapEx**) e *Operational Expenditures* (**OpEx**). Alcuni benefici sono riportati di seguito:

- **Abbattimento dei costi dell'hardware.** E' possibile utilizzare componenti hardware standard **COTS** (*Commercial Off-The-Shelf*) ad alte prestazioni su cui implementare le funzioni di rete virtualizzate. Questi apparati hanno tipicamente un costo molto più basso rispetto quelli dedicati.
- **Accorpamento delle funzioni.** Funzioni di rete differenti, che oggi richiedono diversi box fisici separati, possono essere implementate in un unico server, con conseguente risparmio di spazio, energia e cablatura.
- **Test e sviluppo più rapidi.** Sviluppare un nuovo servizio solo a livello software e poterlo testare su una piattaforma virtuale, senza dover progettare e/o acquistare i relativi componenti hardware, rende il ciclo di sviluppo e il lancio di un nuovo servizio più rapidi e meno rischiosi.

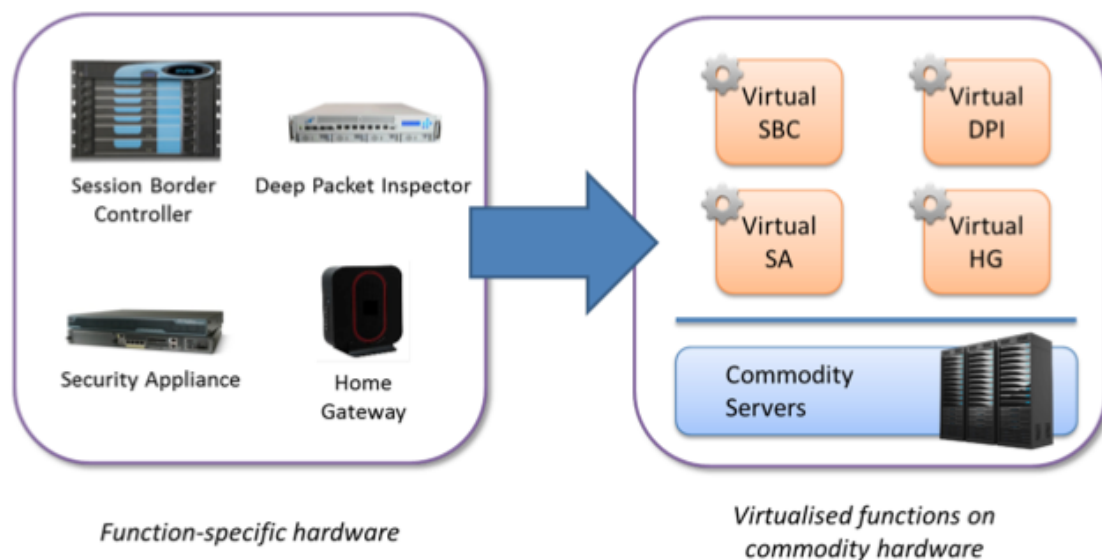


Figura 2: Confronto tra il modello di rete (basato su hardware dedicati) e il nuovo modello(basato su funzioni virtualizzate e hardware standard)

### 1.2.1 Nuove sfide

La nuova concezione della rete introdotta da NFV comporta anche nuove sfide con cui gli operatori e i produttori dovranno confrontarsi, alcune delle quali sono riportate di seguito:

- **Prestazioni:** Sarà necessario ottimizzare le funzioni software in modo da raggiungere le stesse prestazioni degli hardware dedicati.
- **Aumento degli endpoint IP:** a causa della virtualizzazione degli apparati di rete, il numero degli endpoint in un ambiente NFV crescerà molto più rapidamente che nelle attuali reti, aumentando il carico e i flussi di informazione da gestire.
- **Elasticità:** Le funzioni di rete potranno essere create, modificate e distrutte in tempo reale. La rete dovrà essere in grado di riconfigurarsi in tempi rapidi.

### 1.3 NFV e SDN

*Software Defined Network* (SDN) rappresenta un'altra importante architettura in tema di nuova visione delle reti di comunicazione. SDN e NFV hanno obiettivi diversi e sono tra loro indipendenti in quanto possono essere implementati l'uno senza la necessità dell'altro. Il loro utilizzo combinato può tuttavia fornire enormi benefici e aiuta a raggiungere più velocemente gli obiettivi reciproci delle tue tecnologie.

L'approccio SDN mira al raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- Separazione del *control plane* dal *data plane*.

- Visione globale della rete da parte di un'entità di controllo centralizzata.
- Programmabilità della rete da parte di applicazioni esterne.

Mentre NFV si concentra sullo sviluppo ottimizzato delle funzioni di rete tramite tecniche di virtualizzazione, SDN è incentrato sull'ottimizzazione delle modalità di gestione dell'infrastruttura di rete su cui le funzioni operano.

## 1.4 Casi d'uso

La Network Function Virtualization è oggetto di grande attenzione da parte di gruppi di ricerca, aziende produttrici e operatori nel settore delle reti di telecomunicazione. Si tratta di un settore ancora inesplorato, ma possiede un elevato potenziale innovativo e rappresenta un'importante occasione di sviluppo.

L'ETSI [vedi Bibliografia 1] ha identificato e analizzato alcuni possibili casi d'uso. Di seguito verranno brevemente trattati due casi d'uso inerenti al contesto delle reti mobili.

### 1.4.1 Caso d'uso #1: Virtualizzazione della “*Mobile Core Network*”

#### Motivazione

Le reti mobili sono popolate da una grande varietà di dispositivi hardware proprietari. NFV mira a ridurre la complessità della rete e delle questioni operative connesse sfruttando le tecnologie di virtualizzazione.

Possibili vantaggi della virtualizzazione della mobile core network sono i seguenti:

- Maggiore efficienza di utilizzo della rete grazie ad un'allocazione flessibile delle diverse funzioni di rete.
- Maggiore disponibilità del servizio fornita agli utenti finali grazie alla riconfigurazione dinamica della rete.
- Elasticità: la capacità dedicata a ogni funzione di rete può essere modificata dinamicamente in base al carico effettivo sulla rete, aumentando così la scalabilità.
- Riconfigurazione Topologia: la topologia di rete può essere riconfigurata dinamicamente per ottimizzare le prestazioni.

#### Descrizione

Nel Evolved Packet Core (EPC), che è l'ultima architettura di core network per un sistema cellulare, esempi di funzioni di rete virtualizzabili includono la *Mobility Management Entity* (MME) ed il *Serving / Packet data network Gateway* (S-GW/P-GW).

Le funzioni di rete virtualizzate (VNF) possono scalare in modo indipendente in base alla specifica richiesta delle risorse, ad esempio ci potrebbe essere una situazione in cui è necessario aumentare le risorse del piano dell'utente senza che interessino il piano di controllo e viceversa. Si possono presentare diversi scenari in cui, per esempio, l'intera EPC è virtualizzata oppure solo alcune VNF vengono virtualizzate.

### **Coesistenza di funzioni di rete virtualizzate e non virtualizzate**

In questo caso la mobile core network virtualizzata basata su NFV coesisterà con quella non-virtualizzata già dispiegata non basata su NFV. Gli operatori di rete devono avere la libertà di scegliere come e dove utilizzare NFV secondo il loro piano di migrazione dalla rete non virtualizzata a quella virtualizzata.

Diversi scenari, come illustrato in Figura 3, sono possibili a seconda della scelta degli operatori. A titolo di esempio, due scenari sono presentati di seguito:

- **Virtualizzazione di alcuni componenti della mobile core network.** In questo caso solo alcune funzioni di rete vengono virtualizzate (es. MME) mentre altri elementi di rete restano invariati (es. S-GW/P-GW).
- **Coesistenza di mobile core network virtualizzate e non virtualizzate.** In questo caso l'operatore dispone di una rete virtualizzata pur avendone una tradizionale (intesa come non-virtualizzata). La core virtualizzata può essere usata per servizi specifici (ad esempio machine to machine) o per il traffico eccedente la capacità della rete tradizionale.

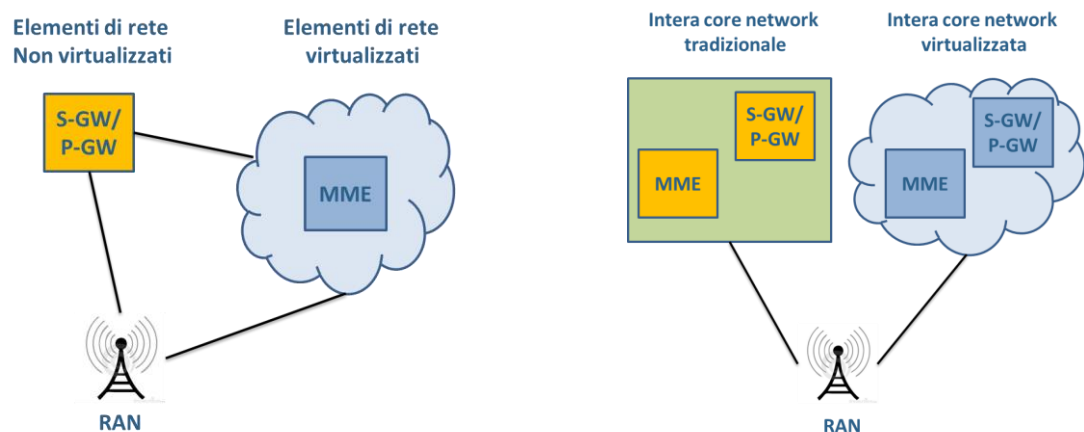


Figura 3: confronto tra virtualizzazione parziale e virtualizzazione completa

Per gli scenari che coinvolgono la coesistenza della mobile core network virtualizzata e non virtualizzata, devono essere chiariti i criteri di progettazione per i seguenti elementi:



1. Radio Access Network (RAN): dove la mobile core virtualizzata e non virtualizzata convergono.
2. Sistema di funzionamento: come il sistema di funzionamento delle reti virtualizzate interagisce con quello delle reti non virtualizzate.
3. Ritorno alla rete non virtualizzata: meccanismo di *failover* alla rete non virtualizzata in caso di guasti.

## **Sfide**

Quelle che seguono sono sfide di alto livello che devono essere prese in considerazione nel definire soluzioni specifiche per questo caso d'uso:

1. Resource Scaling : scalare le risorse di rete di una EPC virtualizzata.
2. Service Awareness: allocazione consapevole delle risorse per le funzioni di rete.
3. Trasparenza della virtualizzazione per i servizi: i servizi, utilizzando una funzione di rete, non devono sapere se si tratta di una funzione virtuale o non-virtuale.
4. Trasparenza della virtualizzazione per il controllo e la gestione della rete: i piani di controllo e gestione della rete non devono essere a conoscenza se una funzione è virtualizzata o meno.
5. Manutenzione: gestione della rete durante la rilocalizzazione delle funzioni di rete, replica e scaling delle risorse.
6. Monitoraggio/diagnostica/recupero: meccanismo appropriato per il monitoraggio/rilevazione guasti/diagnosi/recupero di tutti i componenti dopo la virtualizzazione.
7. Disponibilità del servizio: raggiungere lo stesso livello di disponibilità del servizio della mobile core network non virtualizzata.
8. Meccanismo di separazione del traffico: separazione del traffico per reti mobili virtualizzate e non virtualizzate.

### **1.4.2 Caso d'uso #2: Virtualizzazione della “Mobile Base Station”**

#### **Motivazioni**

Il traffico della rete mobile sta aumentando significativamente a causa della diffusione sempre più massiccia di dispositivi mobili, mentre è difficile far crescere l'ARPU (*Average Revenue Per Unit*).

Per mantenere il profitto, gli operatori mobili dovrebbero ridurre i CAPEX/OPEX e allo stesso tempo fornire servizi migliori ai propri clienti.

Quando gli operatori di telefonia mobile cercano di diminuire il TCO (*Total Cost of Ownership*) e il consumo di energia delle reti mobili, individuano nei nodi RAN (*Radio Access Network*) uno degli ambiti nei quali intervenire. La maggior parte dei nodi RAN, sono di solito basati su piattaforme proprietarie e sono affetti da lunghi cicli di vita in sviluppo, implementazione e funzionamento.

La virtualizzazione di stazioni radio base punta a realizzare almeno una parte di nodi RAN su server standard. Si prevede di poter avere vantaggi, quali minore ingombro e minor consumo di energia, dall'allocazione dinamica delle risorse e dal bilanciamento del carico di traffico, nonché una più facile gestione e un più rapido time-to-market. Inoltre, NFV consente la creazione di un ambiente competitivo per la fornitura di applicazioni di rete da terze parti, sbloccando i vincoli di proprietà dei nodi delle stazioni radio base.

### **Descrizione**

Nelle reti dei grandi operatori di telefonia mobile, più nodi RAN di diversi fornitori operano solitamente con diversi sistemi di rete mobile nella stessa zona, ad esempio 3G, *Long Term Evolution* (LTE) e WiMAX .

L'utilizzo di un nodo RAN è di solito inferiore alla sua capacità massima perché il sistema è stato progettato per coprire il carico di picco, tuttavia il carico medio è molto inferiore, e ogni risorsa del nodo RAN non può essere condivisa con altri nodi. La virtualizzazione di una Base Station (BS) può servire per condividere delle risorse tra più nodi RAN, allocando dinamicamente le risorse e riducendo il consumo di energia. Con la virtualizzazione, la RAN centralizzata può sfruttare l'utilizzo delle risorse tra le diverse BS fisiche.

In LTE, le *Base Station* (BS), sono responsabili delle funzioni del PHY, MAC (*Medium Access Control*), RLC (*Radio Link Control*), RRC (*Radio Resource Control*), e PDCP (*Packet Data Convergence Protocol*). Lo strato PHY comprende più operazioni di calcolo, come ad esempio codifica/decodifica di canale, FFT / IFFT.

La virtualizzazione delle BS richiede l'elaborazione in banda base, utilizzando processori general purpose. Inoltre, per la virtualizzazione delle BS è necessario costruire la risorsa di elaborazione, cioè Base Band Unit (BBU) per aggregare le risorse in un ambiente centralizzato virtualizzato, come un'infrastruttura cloud.

## Elementi da virtualizzare

Per il nodo RAN tradizionale come eNodeB e Femto / Picocella, possibili obiettivi di virtualizzazione sono la baseband radio processing unit, MAC, RLC, PDCP, RRC.

## Coesistenza di funzioni di rete virtualizzate e non virtualizzate

La virtualizzazione delle BS dovrebbe supportare parziali scenari di distribuzione che tengano conto delle diverse funzioni ed elementi della RAN dei diversi sistemi di rete mobile. Alcuni dei possibili scenari sono i seguenti:

1. eNodeB virtualizzati e non virtualizzati: un eNodeB virtualizzato e uno non virtualizzato comunicano tra loro con interfaccia X2 standardizzata.
2. BBU pool virtualizzato ed eNodeB non virtualizzato

All'interno di un nodo RAN, hardware appositamente costruito potrebbe ancora esistere in quanto tutte le funzioni di elaborazione in banda base non possono essere realizzata in modo efficiente sul software.

## Sfide

Quelle che seguono sono le sfide tecniche da affrontare.

1. Virtualizzazione in tempo reale: l'elaborazione del segnale wireless richiede rigorosi vincoli in termini di velocità.
2. Virtualizzazione dell'elaborazione in banda base: l'elaborazione in banda base potrebbe essere virtualizzata da tecniche *Software Defined Radio* (SDR) su un processore general purpose.
3. Allocazione dinamica delle risorse di elaborazione: le risorse di elaborazione devono essere allocate dinamicamente ad un nodo RAN ad alto carico, in modo che i rigorosi requisiti di ritardo di elaborazione e di jitter siano soddisfatte.
4. Inter-connessione fra BBU pool virtualizzate: la BBU pool deve avere elevata larghezza di banda e funzioni di commutazione con bassa latenza per l'interconnessione tra diverse BBU pool. Con questa funzione di commutazione, la BBU pool può realizzare il bilanciamento del carico di elaborazione.
5. Handover performance: latenza per l'handover tra due eNodeB virtualizzati, o tra eNodeB virtualizzato ed eNodeB non virtualizzato, a causa della distanza fisica tra eNodeBs virtualizzati / non-virtualizzati.

## 2 Machine to Machine

### 2.1 Cos'è il M2M?

Il *Machine-to-Machine*, generalmente abbreviato con la sigla M2M, è una tecnologia che consente a macchine di varia natura (meccanica, elettrica o elettronica) di comunicare tra loro in modo da gestire situazioni di interesse minimizzando l'intervento umano.

In particolare, si parla di WM2M (Wireless Machine to Machine) per definire le applicazioni Machine-to-Machine che sfruttano reti di comunicazione senza fili, rappresentate principalmente dal GSM (Global System for Mobile), dal GPRS (General Packet Radio Service), dall'EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution), dall'UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), dal Wi-Fi (Wireless Fidelity), da sistemi in radiofrequenza proprietari che sfruttano specifici ponti radio, dal Bluetooth e da altre tecnologie meno diffuse. Le soluzioni che sfruttano sistemi di comunicazione wireless Machine-to-Machine consentono di automatizzare processi e compiti manuali, al fine di migliorare il servizio fornito agli utenti, attraverso l'interconnessione di apparecchiature "intelligenti", dotate cioè di sensori e moduli di comunicazione, con sistemi informatici.

I dati che vengono scambiati dalle macchine possono riguardare informazioni sul proprio funzionamento, sulle condizioni dell'ambiente che le circonda, raccolte attraverso sensori, sulla localizzazione, sullo stato di un certo parametro (on/off, aperto/chiuso, ecc.) o sul valore di indicatori di funzionamento di apparati o dispositivi (temperatura, velocità, umidità, pressione, tensione, ecc.). Oggi tutte le apparecchiature con microprocessori integrati (*embedded*) sono potenzialmente in grado di comunicare autonomamente tra loro e con centri di controllo via rete wireless. Grazie a questo scambio di informazioni, per esempio, i veicoli aiutano a condurre a destinazione i passeggeri, attraverso navigatori satellitari e servizi d'informazione real-time, i distributori automatici contattano la centrale operativa per il rifornimento e gli ascensori per la manutenzione, le fotocopiatrici e le stampanti avvertono per la sostituzione del toner. Queste funzioni offrono nuovi servizi, riducono il "traffico informativo", accorciano i tempi di risposta ed eliminano tempi morti ed inutili sopralluoghi. Ma, più importante di tutto, la telemetria, la telematica e il M2M consentono alle aziende di sfruttare nuovi modelli di business, passando da una logica di vendita di prodotto a una logica di vendita di servizi.

### I moduli wireless

I sistemi di comunicazione sono sempre più spesso parte integrante di ogni attività quotidiana sia in ambito domestico che lavorativo; si pensi alle migliaia di calcolatori e apparecchiature elettroniche ci circondano e da cui dipendiamo costantemente.

I moduli wireless sono apparati di comunicazione di ridottissime dimensioni e dai bassissimi consumi. Sono interfacciabili con la maggior parte delle apparecchiature elettriche ed elettroniche utilizzate in un'ampia gamma di applicazioni industriali e di servizio in cui si richiede una trasmissione di dati via connessioni GSM, GPRS, UMTS o altro.

## **2.2 Analisi di mercato**

### **2.2.1 Il M2M oggi**

Il M2M non è una nuova tecnologia che deve ancora dimostrare la propria validità nella pratica. Al contrario, in molti settori la comunicazione M2M è già oggi un elemento divenuto ormai indispensabile. Diagnosi a distanza, manutenzione remota e rilevazione automatica dei dati relativi ai consumi, ad esempio, sono in molti casi già uno standard. La possibilità di collegare soluzioni M2M a una rete di telefonia mobile ad alte prestazioni e ad Internet rende sempre più facile, conveniente e di conseguenza comune l'utilizzo del M2M, anche mobile, a livello mondiale.

### **2.2.2 Il M2M domani**

Il collegamento in rete di macchine è uno degli sviluppi tecnologici attualmente più importanti. Gli osservatori del mercato partono dal presupposto che tra meno di dieci anni ci saranno oltre 50 miliardi di macchine collegate tramite sistemi M2M e quindi in grado di garantire una migliore efficienza energetica, un utilizzo rispettoso delle risorse, più sicurezza e una vita quotidiana più semplice.

### **2.2.3 Benefits**

La generale diffusione delle tecnologie Machine to Machine potrebbe determinare la riduzione di 9,1 milioni di tonnellate di CO<sub>2</sub> entro il 2020 pari al 18,6% delle emissioni globali del 2011. Nel frattempo si stima dal punto di vista economico, una crescita media annua degli investimenti in questo settore pari al 23% che permetterà loro di raggiungere il valore di quasi mille miliardi di dollari nel 2020. Lo afferma un report reso pubblico recentemente da AT&T e Carbon War Room [vedi Bibliografia 2].

Ciò che più conta è che l'impiego di queste tecnologie viene considerato fra quelle a maggior potenziale nella riduzione delle emissioni di gas serra; comunque paragonabile alla affermazione delle energie rinnovabili. Le applicazioni M2M ci permetteranno di produrre di più con meno, riducendo i consumi di energia e di risorse naturali e risparmiando tempo. Questi effetti determineranno anche vantaggi economici che si andranno a sommare a quelli determinati dallo sviluppo di un nuovo settore di business.

Secondo il Report di AT&T i settori economici in cui gli effetti dell'applicazione Machine to Machine saranno più significativi sono l'energia, i trasporti, le costruzioni e l'agricoltura.

Per quanto riguarda l'energia, l'impiego diffuso degli *smart meter* permetterà l'affermazione delle reti intelligenti in grado di rendere più efficiente la produzione e la distribuzione di energia e di facilitare l'affermazione delle rinnovabili.

Nei trasporti, i nuovi sensori guideranno ad un utilizzo più efficiente delle reti disponibili, mentre nel settore immobiliare permetteranno soprattutto di ridurre il consumo di energia per la climatizzazione. In agricoltura infine renderanno possibile la riduzione dell'utilizzo di fertilizzanti, dell'acqua e delle altre risorse a parità di risultato produttivo.

#### 2.2.4 Il mercato mondiale

Il mercato M2M è in continua crescita ed i più importanti istituti di ricerca (Berg Insight, ABI Research, Harbor Research, Infonetics) sebbene facciano previsioni differenti tra loro, sono tutti d'accordo sul fatto che esso continuerà a crescere in maniera esponenziale nei prossimi anni, come si può vedere dalla Figura 4.

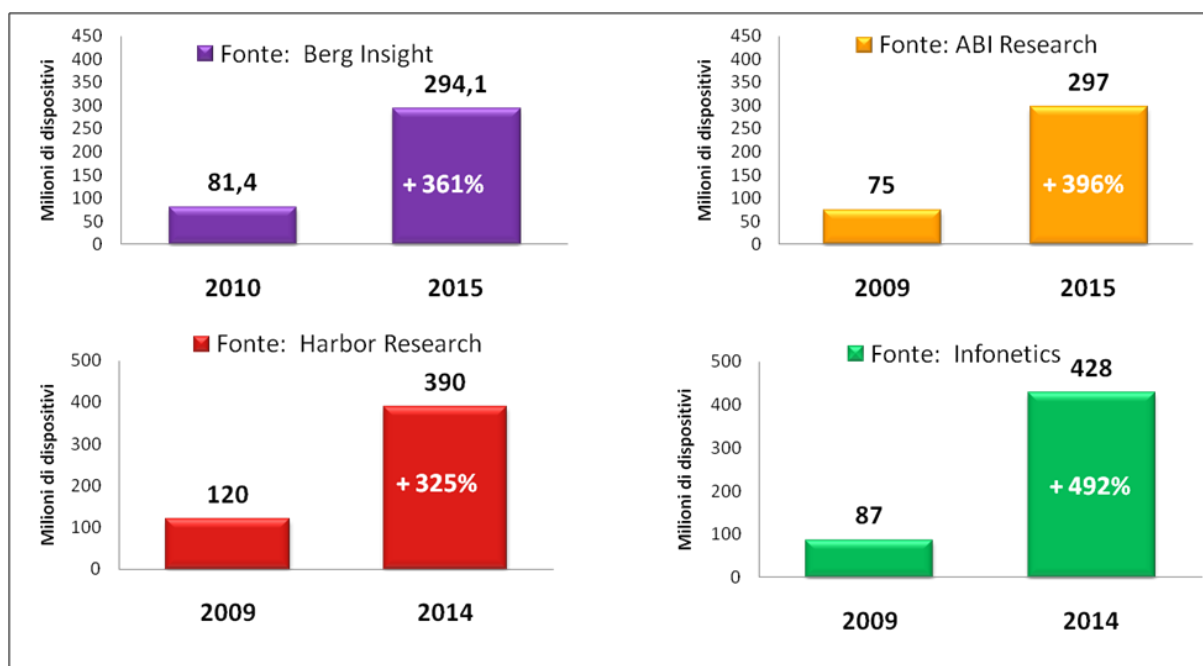


Figura 4: Previsioni numero dispositivi M2M connessi

I principali fattori che contribuiranno a questo sviluppo sono:

- Il numero estremamente elevato di macchine potenzialmente interessate a questo tipo di servizio (50 miliardi secondo dati *Harbor Research*);
- L'evoluzione delle reti sia in termini di maggiore copertura che di maggiore banda, fornita anche a costi inferiori;
- L'evoluzione dei moduli hardware e quindi la disponibilità di dispositivi sempre più avanzati tecnologicamente e a prezzi ridotti.

Il mercato del *Machine-to-Machine* sembra essere in rapido sviluppo, infatti alla fine del 2010 il numero di connessioni M2M ha raggiunto gli 81,4 milioni (fonte: *Berg Insight*) registrando una crescita del 46% rispetto all'anno precedente.

Gli analisti prevedono una grande crescita del M2M anche nei prossimi anni: *Berg Insight* afferma che nel 2015 il M2M raggiungerà 294,1 milioni di connessioni mentre il dato che più di tutti sorprende è quello diffuso da *Analysys Mason* che stima che il numero di connessioni M2M salirà a 2,1 miliardi entro il 2020.

Questa straordinaria crescita è dovuta a più fattori, ma di sicuro il calo dei prezzi dei componenti e le modifiche normative stanno facendo la differenza: circa sette anni fa un modulo M2M costava di 60 dollari, ora ne costa 10.

Inoltre, con la legislazione europea, l'80% di tutti i contatori di energia elettrica in Europa saranno letti a distanza, entro il 2020, e stando alla direttiva della Commissione Europea sull'*e-call*, ogni *airbag* delle nuove automobili sarà collegato ai servizi di emergenza attraverso una connessione *wireless*.

L'analisi effettuata ha anche riguardato i maggiori attori sulla scena mondiale del M2M: sempre secondo l'istituto di ricerca *Berg Insight*, il colosso americano *AT&T* è attualmente al comando tra gli operatori di telecomunicazioni in quanto a numero di dispositivi connessi M2M, dopo aver sorpassato *Verizon Wireless* nell'ultimo anno.

*AT&T* ha aggiunto 4,7 milioni di macchine e dispositivi *consumer* con connettività integrata nel 2010, quasi raddoppiando così la sua base di inizio anno e raggiungendo la quota 9,3 milioni. Nello stesso periodo il precedente leader del mercato, *Verizon Wireless* è passato al secondo posto con 8.1 milioni di sottoscrizioni M2M, di cui solo 1,2 milioni nel 2010.

*Berg Insight* stima *Vodafone* al terzo posto contando tra i 7 e gli 8 milioni di connessioni; segue *China Mobile* al quarto posto con circa 6 milioni di connessioni, seguita da *T-Mobile* con approssimativamente 5 milioni. Gli altri operatori top ten sono *Telefónica*, *Telenor*, *Orange*, *Sprint* e *America Móvil* che hanno ciascuna tra i 2 e i 4 milioni di connessioni.

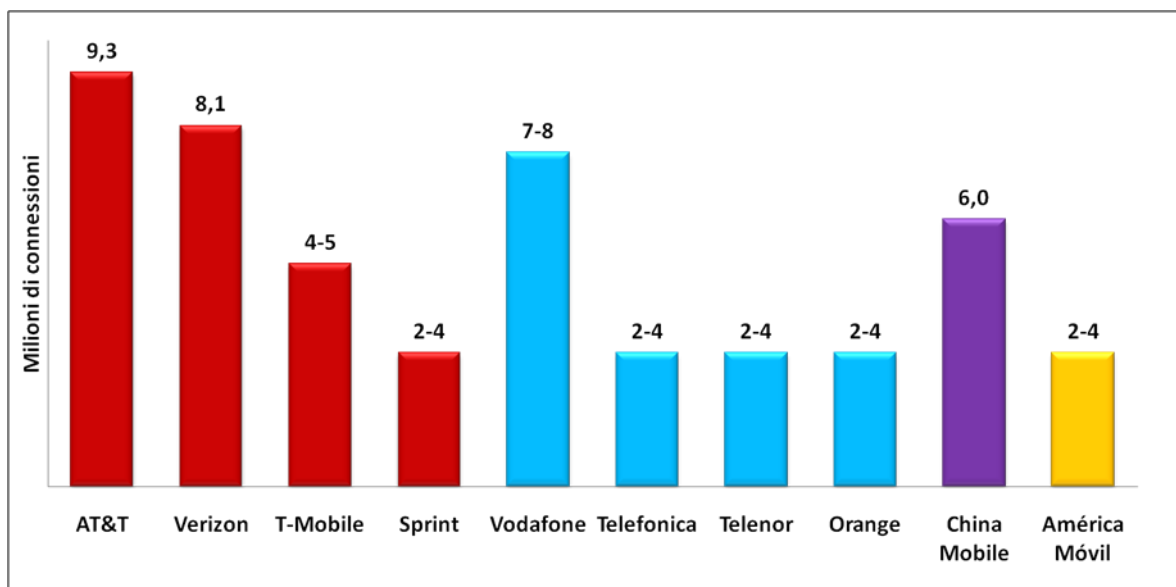


Figura 5: numero di connessioni per operatore

Questo dato evidenzia la principale differenza tra il mercato nordamericano e quello europeo: il primo risulta in mano ai grandi operatori di telecomunicazioni che si contendono un grande numero di clienti, mentre il mercato europeo è più frammentato e dietro al *leader Vodafone* ci sono una serie di operatori “minori” che danno vita ad una forte concorrenza.

Rispetto alle aree geografiche invece vediamo che il maggior numero di connessioni M2M lo si trova in Europa con 29,5 milioni sebbene nel Nord America l'aumento totale è stato del 51% con 23,6 milioni, e l'area Asia-Pacifico è cresciuta del 53% arrivando a toccare quota 19,6 milioni.

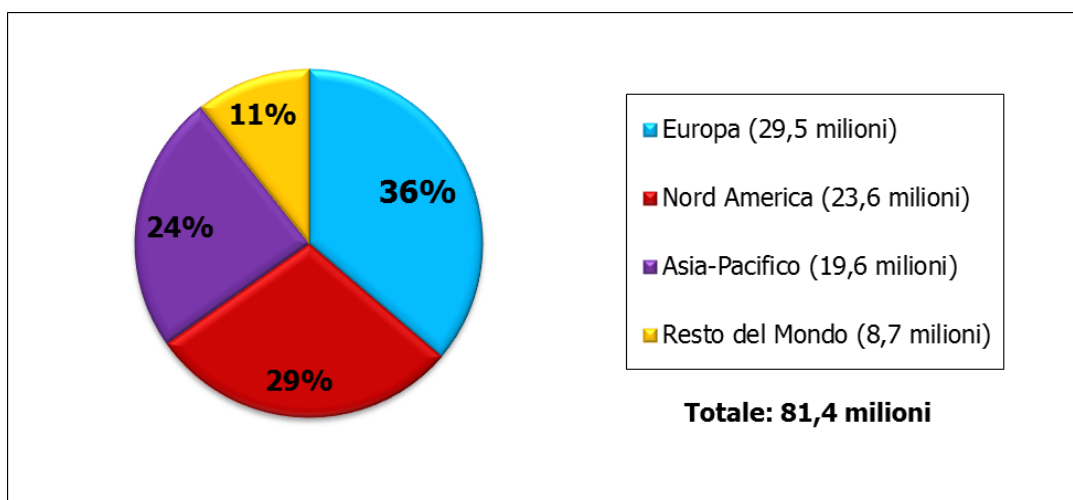


Figura 6: Numero di connessioni M2M per area geografica (fonte: Berg Insight)



Per quanto riguarda le tematiche, secondo uno studio di *Analysys Mason*, nel 2020 a fronte di un totale di 2,1 miliardi di connessioni, la *Energies&Utilities* risulterà la tematica più presente con circa il 62% di connessioni effettuate (1,32 miliardi) seguito dalla *Security* con il 21% di connessioni pari a circa 450 milioni e a seguire *Automotive&Transport* (13%), *Healthcare* (3%) e *Government&Retail* (1%).

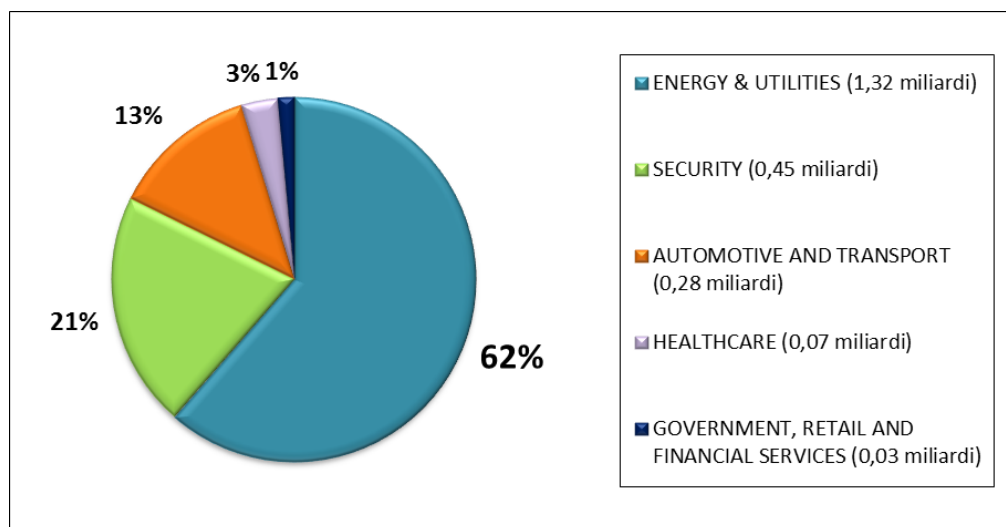


Figura 7: Previsione sviluppo tematiche 2020 (fonte: Analysys Mason)

### 2.2.5 Il mercato italiano

Spostandoci sul mercato italiano, grazie allo *scouting* effettuato sui servizi attualmente presenti è emerso che la tematica dominante è quella delle *Energies&Utilities* con il 50% dei servizi sviluppati in questo ambito, seguita dal settore *Automotive* con il 33%.

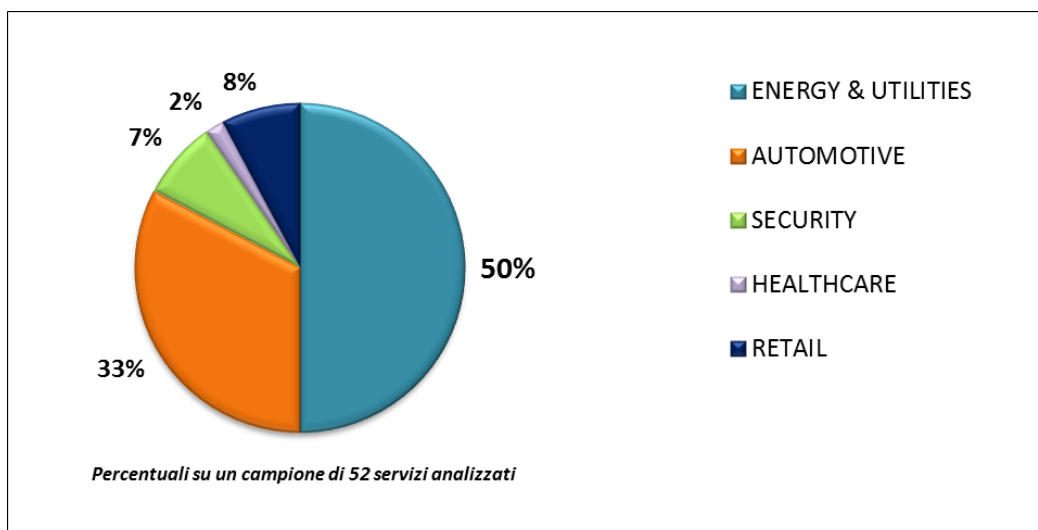


Figura 8: Servizi M2M sul mercato italiano per area di applicazione

I risultati prendono in considerazione i 52 servizi prevalentemente offerti dai maggiori operatori di telecomunicazioni del panorama italiano e da alcune aziende che offrono soluzioni su misura dedicate a piccole e medie imprese.

Ad esempio, *Vodafone*, molto attiva nel M2M anche nel resto del mondo, in Italia offre diversi servizi che spaziano dal monitoraggio di sistemi termici alla diagnostica veicoli, dalla gestione degli accessi al monitoraggio di *Gambling Machines*; Wind invece propone servizi che spaziano dal *Vehicle Tracking* ai sistemi di sicurezza. L'offerta di Tim si rivolge essenzialmente al business offrendo servizi di *Mobile Loyalty*, *Vehicle Diagnostics*, gestione flotte, lettura contatori.

In particolare, Telecom Italia presenta diversi progetti in fase di sperimentazione come *Energy @Home*, *Kaleidos* e *FleetNet*.

*Energy@Home*, è un progetto che si inserisce nel campo dell'efficienza energetica in ambito domestico e prevede un sistema di apparecchi domestici interconnessi tra loro e con la rete Internet con cui l'utente potrà interagire monitorando e controllando i propri consumi.

*FleetNeT* è un servizio rivolto alle aziende che operano nel settore dei trasporti che permette loro di localizzare e gestire ciascuno dei propri veicoli in modo semplice, grazie all'impiego di terminali GSM, collegati a GPS.

*KALEIDOS*, invece, è un sistema di monitoraggio progettato per ridurre i consumi energetici delle aziende: la piattaforma è in grado di registrare in tempo reale l'utilizzo dell'energia elettrica e analizzare i principali parametri ambientali, dei siti industriali e degli uffici.

Per quanto riguarda il modello di *business* che sta dietro i servizi offerti dagli operatori italiani è emerso che, attualmente, essi forniscono al cliente le infrastrutture e le SIM a cui viene associato un:

- costo di attivazione;
- canone fisso mensile (con soglia traffico);
- costo traffico extra-soglia.

Un'azienda italiana particolarmente attiva è risultata essere **Movactive** che offre un ventaglio di soluzioni rivolte ad aziende di più settori: si va dalla gestione efficiente di impianti fotovoltaici alla telegestione della climatizzazione e del riscaldamento, dall'automazione industriale alla telegestione di acqua, dal gpl fino ai trasporti (gestione flotte taxi, trasporto merci, rifiuti, refrigerato).

Da questa analisi è venuto fuori che il *target* a cui i servizi esistenti si rivolgono è principalmente di tipo *business* (84%) mentre i servizi *consumer* coprono la restante fetta (16%).

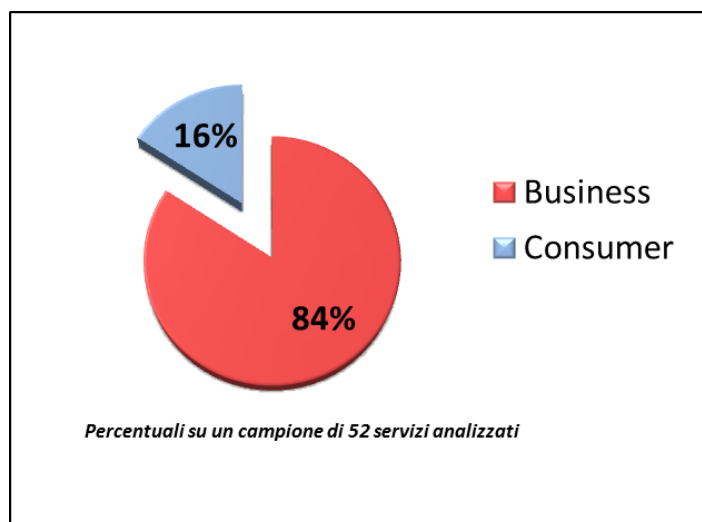


Figura 9: Servizi M2M per target

## 2.2.6 La catena del valore

Passando ad analizzare la catena del valore dei servizi M2M che vengono offerti sul mercato mondiale, sono stati individuati gli attori che la compongono evidenziando:

- **Il produttore hardware**, cioè l'azienda che produce i moduli M2M che verranno poi integrati nei dispositivi da telegestire;
- **Il fornitore del servizio**, che rappresenta l'azienda che, interfacciandosi con il cliente, rivende il servizio;
- **Il Telco Operator**, ossia l'operatore di telecomunicazioni che offre la propria rete e quindi la connettività al servizio e all'azienda che lo offre;
- **L'azienda**, presente solo in alcuni servizi come ad esempio la raccolta di rifiuti "intelligente" in cui l'amministrazione comunale rappresenta l'azienda che rivende il servizio ai propri cittadini;
- **Customer**, l'utente finale che acquista il servizio e ne beneficia.

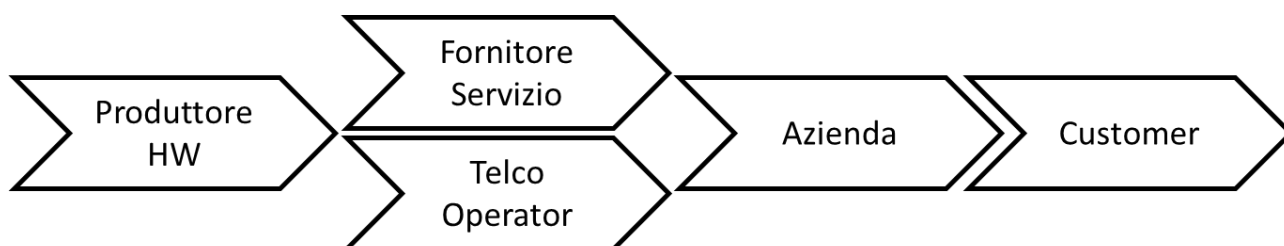


Figura 10: La catena del valore del M2

### 2.3 Applicazioni del M2M

Le applicazioni WM2M sono molteplici e molto diverse tra loro. Tuttavia, è possibile raggrupparle in due macro categorie funzionali; le soluzioni che acquisiscono dati (telemisura, monitoraggio remoto, tracciamento dei veicoli, localizzazione, ecc.) e le soluzioni che, oltre ad acquisire dati, sono in grado di attivare azioni (telegestione, telecontrollo, applicazioni WM2M che supportano la gestione delle flotte, ecc.). Declinando le due tipologie sui vari settori verticali è possibile ottenere le più svariate applicazioni, dalla telegestione dei contatori elettrici alla localizzazione delle flotte di autobus pubblici, dal monitoraggio dei distributori automatici al telecontrollo dell'avanzamento della produzione (per esempio le applicazioni basate su tecnologia RFid).

Sono molte le aziende che hanno già tratto vantaggio da incrementi di produttività, ottimizzazioni nella gestione delle risorse umane e di asset dell'ambiente esterno adottando sistemi di comunicazione wireless. Il valore aggiunto delle applicazioni wireless risiede nella possibilità di estendere e far comunicare gli attuali sistemi gestionali e processi produttivi con il campo esterno. I casi della casa automobilistica Nissan e dell'azienda farmaceutica *Hboc* sono esemplificativi di quanto esposto: Nissan ha risparmiato il 40% dei costi di vendita consentendo l'accesso wireless al "pricing" e alle scorte magazzino; *Hboc*, dal canto suo, ha ridotto dell'80% il costo delle spedizioni dotando i propri magazzini di connessione wireless. La comunicazione wireless sta riscuotendo molto interesse anche nel mondo del vending, cioè dei distributori automatici, in cui conoscere il corretto funzionamento, l'incasso e lo stato di riempimento delle macchinette in tempo reale è fondamentale per le aziende che gestiscono questo business.

Oltre all'ottimizzazione logistica un altro interessante ritorno si avrebbe dall'introduzione di un innovativo servizio di pagamento virtuale (cashless). *Ntt DoCoMo* ha incrementato i profitti delle aziende di vending del 70% introducendo la formula dei pagamenti cashless. *Teclion* ha risparmiato il 50% sulle visite di servizio introducendo il controllo remoto. È importante notare come per queste aziende il focus sia passato dalla produttività all'efficienza. I corrieri stessi rivestiranno un ruolo molto simile al commerciale, con compensi e incentivi legati più alla ricerca di locazioni proficue per i distributori che a semplici mansioni manuali. Le aziende di vending potrebbero fornire servizi tipicamente propri di compagnie di comunicazione e biglietteria elettronica, basterebbe dotarli di display e terminali wireless, potrebbero addirittura fornire servizi di cassa automatica come gli ATM ("Bancomat").

Anche in Italia alcuni gestori di distributori hanno sperimentato tali soluzioni, avviando il roll-out nei siti ritenuti più adatti, quali stazioni ferroviarie od ospedali. I più noti analisti, come *Abi Research*, *Berg Insight*, o *Gartner*, concordano sulla crescente attenzione verso le soluzioni Machine to Machine sviluppate per la sicurezza nel mercato *automotive*, mentre continua già da tempo il trend di crescita sulle applicazioni di telegestione in ambito *utility* e *privato*, come le letture dei contatori del metano o il controllo dei livelli di riempimento dei serbatoi di GPL.

Lo sviluppo delle tecnologie dei sistemi automatici di misura e di telecontrollo ha reso sempre più richiesta la comunicazione fra uomo e macchine e tra macchine e macchine. Sempre più apparecchiature richiedono un controllo o un monitoraggio a distanza e sempre più sentita è l'esigenza di una gestione centralizzata.

### 2.3.1 Logistica e trasporti

La gestione della flotta tramite M2M apre nuove prospettive nella concorrenza quotidiana. Il parco veicoli può reagire con flessibilità al variare dei desideri dei clienti, delle condizioni di attività e delle condizioni di traffico. È possibile monitorare la posizione dei veicoli, verificare la velocità, i chilometri percorsi e il consumo di carburante. Gestire in modo intelligente la flotta, pianificando percorsi più brevi e riducendo in questo modo i costi per il carburante e per il personale.

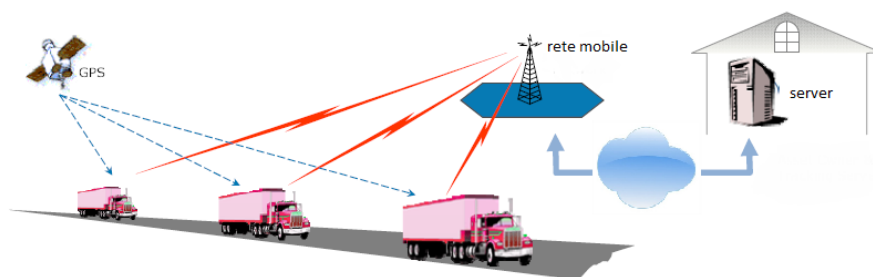


Figura 11: Device M2M connessi ad un server M2M per gestire la flotta

### Autonoleggi

Il monitoraggio consente agli autonoleggi di offrire un nuovo valore aggiunto: ad es. possono migliorare il soccorso stradale o offrire sconti speciali per i conducenti più prudenti.

### Assicurazioni

Tramite analisi individuali, le assicurazioni possono offrire polizze su misura orientate al comportamento del singolo conducente.

## Conducenti

I conducenti vengono informati in tempo reale sulle condizioni attuali del traffico e le condizioni metereologiche potendo così pianificare al meglio il loro percorso.

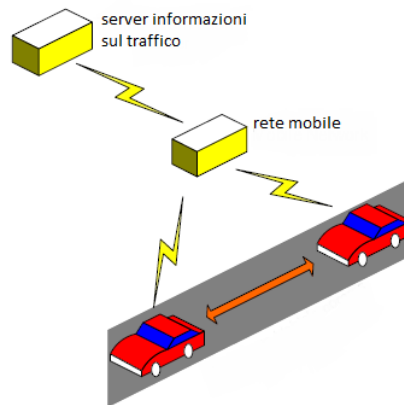


Figura 12: Device M2M connessi ad un server per informazioni sul traffico

## Aziende di trasporto

Grazie ai dati in tempo reale le imprese di trasporto possono, ad esempio, reagire immediatamente ai guasti, modificare di conseguenza il coordinamento del proprio parco veicoli, tenere aggiornati i passeggeri ed ottimizzare i percorsi da seguire migliorando l'efficienza e riducendo i costi.

## Sicurezza ed assistenza

Tramite *eCall* e *bCall* è possibile inviare la posizione nella quale ci si trova e una diagnosi di un eventuale problema tecnico al veicolo garantendo una rapida assistenza.

### 2.3.2 Produzione industriale

Grazie alla trasmissione di dati in tempo reale tramite la rete mobile è possibile rilevare tutti i dati significativi dell'azienda. Lo stato delle macchine e i volumi di consumo vengono comunicati ininterrottamente, mentre tempi di indisponibilità e linee di produzione vengono minimizzati. I produttori di macchinari possono offrire ai loro clienti processi di assistenza innovativi grazie alla manutenzione a distanza.

### 2.3.3 Beni di consumo intelligenti

I prodotti elettronici hanno il potenziale di trasformarsi da singoli apparecchi isolati in tool per sviluppare rapporti interattivi con i clienti collegandoli alla rete.

## Sportivi non agonistici

Gli sportivi non agonistici ricevono informazioni preziose per la loro attività dal raffronto di dati in tempo reale, tramite il quale possono ottimizzare il loro programma di fitness.

## Sistemi di localizzazione e tracking

I sistemi di localizzazione e tracking aiutano nell'individuazione di escursionisti, bambini, anziani, animali domestici o oggetti di valore. Monitorare real-time la posizione di risorse, di beni e di scorte massimizzando l'efficienza, ottimizzando le operazioni e riducendo i costi. Infatti i furti, gli smarrimenti e ritardi nelle consegne sono tutti fattori che implicano maggiori costi sia per quanto riguarda l'acquisto di risorse alternative sia per quanto riguarda l'assicurazione delle merci e delle risorse.

## Monitoring solutions

Per le industrie di beni di consumo, M2M rappresenta una grossa opportunità per restare in stretto contatto con i clienti, capirne le esigenze e sviluppare i propri prodotti secondo i gusti e le preferenze dei clienti.

## Energy data management

È possibile ridurre i costi per l'energia avendo una conoscenza real-time dei consumi e degli effettivi bisogni.

## Smart home

Tramite dei sensori posti negli elettrodomestici e nei sistemi di air-conditioning è possibile per esempio accendere e spegnere da remoto questi dispositivi.

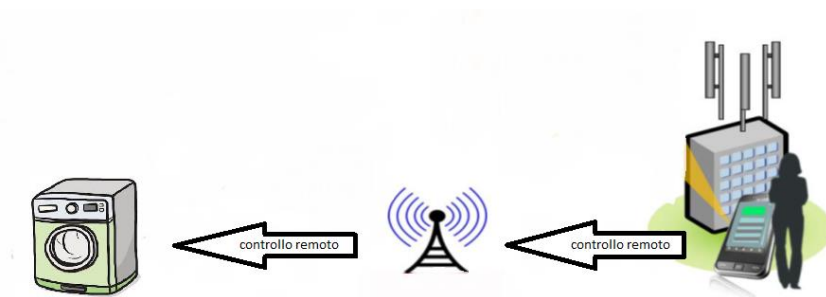


Figura 13: Controllo remoto di elettrodomestici

### 2.3.4 Commercio e POS

Oltre alle semplici funzioni di pagamento, le soluzioni M2M includono sempre più spesso anche il monitoraggio di processi, *cash flow* e *sales performance*. In questo modo è

possibile minimizzare i costi di esercizio aumentando al contempo le vendite e attingendo a nuove fonti di fatturato.

### **Superfici pubblicitarie digitali**

Le superfici pubblicitarie possono essere adattate in tempo reale al mutare delle condizioni o delle persone, aumentando così significativamente l'attenzione.

### **Monitoraggio di distributori automatici**

Monitorare i distributori automatici con M2M significa essere sempre aggiornati sul livello di riempimento e ricevere in tempo reale dati preziosi sul comportamento d'acquisto o ai fini della manutenzione a distanza.

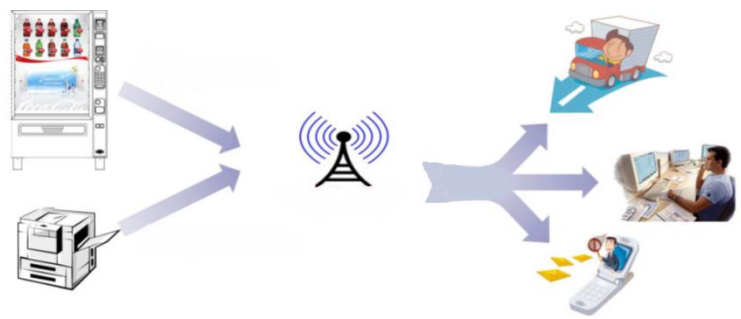


Figura 14: gestione delle scorte delle vending machine e delle stampanti

### **ATM and banking machines**

È possibile spostare i servizi finanziari dagli ATM connessi ad una linea fissa ad ATM che utilizzano soluzioni mobile, particolarmente utili in caso di utilizzi in località temporanee come concerti ed eventi sportivi.

#### **2.3.5 Medicina e wellness**

Sempre più persone godono di una vita sempre più lunga e di conseguenza aumentano anche i costi dovuti alla cura della salute. Il M2M aiuta a ridurre le spese migliorando al contempo l'assistenza e la qualità in ambito sanitario.





Figura 15: sensori indossabili

### Monitoraggio delle condizioni di salute

È possibile monitorare da remoto le condizioni dei pazienti lungodegenti, assicurarsi che stiano seguendo la cura prescritta, evitando periodiche visite in ospedale che impattano negativamente sul lato emotivo dei pazienti e riducendo i costi per la struttura ospedaliera.

- **Cardiopatici:** i pazienti affetti da problemi al cuore possono misurare a casa propria peso e pressione sanguigna, realizzare un ECG, evitando di doversi recare dal medico.
- **Persone affette da disturbi del sonno:** grazie al monitoraggio del sonno, le persone affette da disturbi del sonno possono diagnosticare i disturbi a uno stadio precoce per prevenire postumi cronici.
- **Pazienti affetti da Alzheimer:** i pazienti affetti da Alzheimer possono essere localizzati dai famigliari quando lasciano uno spazio predefinito.

### Monitoraggio e manutenzione degli ambulatori e dei laboratori medici

Monitorare da remoto apparecchiature medicali, rilevare e/o prevenire eventuali problemi/guasti e richiedere la necessaria manutenzione.

#### 2.3.6 Security

Gli apparecchi di sicurezza come impianti d'allarme, sensori di movimento o telecamere aumentano significativamente il livello di sicurezza grazie al collegamento alla rete mobile. Diventa possibile monitorare a distanza, senza alcun intervento infrastrutturale, aziende, percorsi ferroviari, strade, impianti di depurazione ecc.

### Rilevatori antincendio

I rilevatori antincendio possono essere collegati a una centrale di controllo d'emergenza e forniscono informazioni sulla posizione esatta dell'incendio.

### **Videosorveglianza remota**

La videosorveglianza con comando a distanza trasmette dati 24 ore su 24 ad una centrale. Il riconoscimento delle immagini e i sensori consentono di attivare automaticamente le misure necessarie.

Usando tecnologia wireless e device con tecnologia M2M è possibile connettere costantemente il luogo da controllare alle stazioni di polizia o ad agenzie di sicurezza privata.

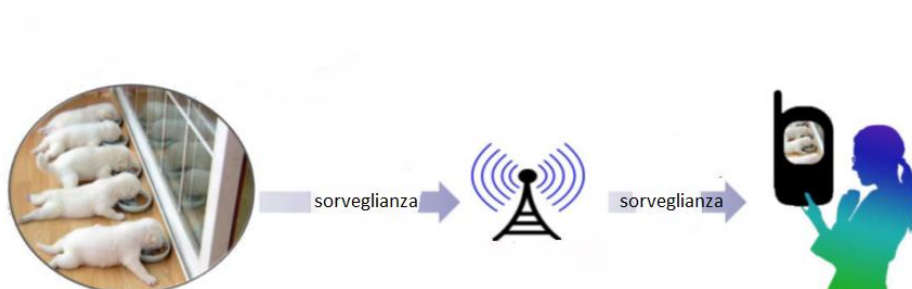


Figura 16: sorveglianza remota

### **Autorità**

Le autorità possono esaminare in tempo reale i dati relativi a campioni di acqua o di aria, contaminazioni e movimenti tettonici, reagendo tempestivamente.

Le autorità locali sono in grado di monitorare ciò che succede nelle infrastrutture viarie di propria competenza, automatizzando per esempio l'attivazione selettiva dell'illuminazione in una determinata strada.

### **Ambiente**

Controllo delle acque, catasti degli scarichi, elenchi delle acque e delle sostanze pericolose, promozione fonti energetiche alternative, monitoraggio del Territorio (incendi, alluvioni, inquinamento,...).

### **Smart Building**

Energy Management, security (gestione accessi), safety (fughe di gas, incendi) e manutenzione di impianti.

### 2.3.7 Settore energia

La disponibilità di dati in tempo reale dà un nuovo impulso al settore dell'energia. Le risorse non inquinanti dipendenti dal vento e dalle condizioni meteorologiche possono essere utilizzate con maggiore efficienza tramite la gestione dell'energia in tempo reale.

#### Aziende di erogazione

I dati sul consumo di aziende e siti produttivi consentono di creare offerte su misura. L'abbassamento dei prezzi nei periodi di minor consumo energetico può contribuire ad uniformare il consumo energetico, minimizzando così le strozzature.

#### Smart metering

Lo *smart metering* può essere usato in tantissime applicazioni rivolte al cliente, per esempio si riesce ad addebitare al cliente una bolletta non basata su una previsione ma sull'effettivo consumo. Questo permetterebbe all'azienda di razionalizzare il *cash flow* e minimizzare le richieste di rimborso da parte del cliente. Grazie alla trasparenza massima, cambiare operatore diventa più semplice e si paga solamente per ciò che effettivamente si utilizza.

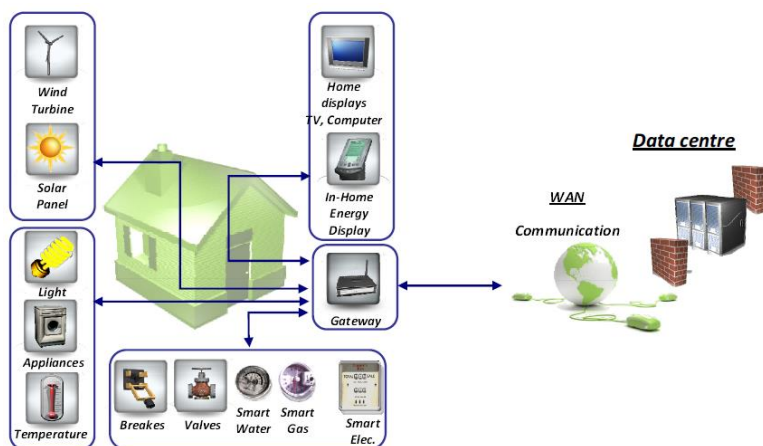


Figura 17: configurazione tipica di smart metering

### 3 Architettura M2M

L'architettura M2M è costituita da tre domini interconnessi:

- M2M Device Domain
- Network Domain
- Application Domain

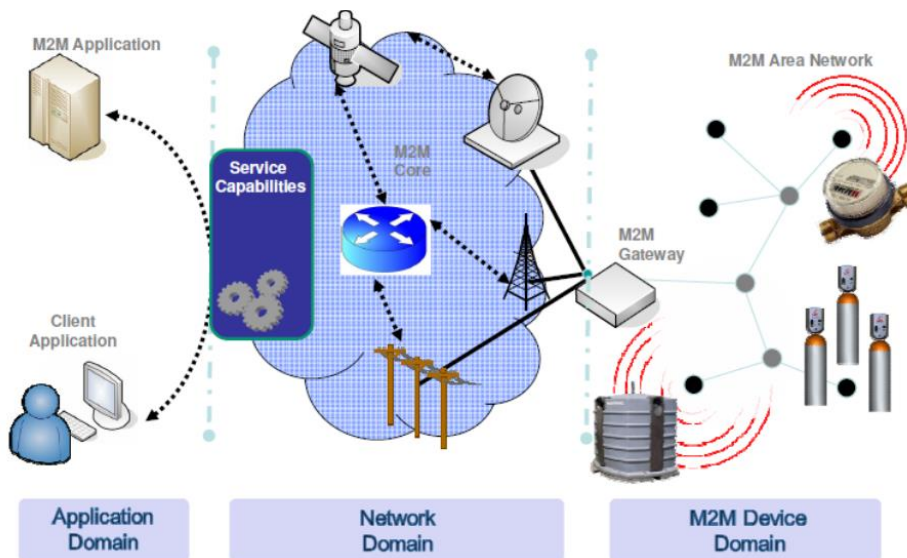


Figura 18: Architettura M2M

#### 3.1 M2M Device Domain

Una generica macchina, che si trova nella *M2M Device Domain*, utilizza un dispositivo (ad es. un sensore o un misuratore) per catturare un evento (ad es. la temperatura o il consumo elettrico), il quale viene trasmesso attraverso una rete (*wireless*, cablata o ibrida) ad una applicazione *software* (*Operator platform*) che traduce questo evento in informazioni significative utilizzate dalle macchine per gestirsi autonomamente ed in alcuni casi anche accedute da utenti umani che possono così controllare e monitorare da remoto il sistema stesso

##### 3.1.1 M2M device

Dispositivo capace di rispondere ad una richiesta proveniente da un altro dispositivo o capace di trasmettere una richiesta ad altri dispositivi

##### 3.1.2 M2M Area Network

Fornisce connettività tra i dispositivi M2M ed i Gateway M2M

### **3.1.3 M2M Gateway**

Permette l'interconnessione tra diversi device tramite una rete di comunicazione.

## **3.2 Network Domain**

### **3.2.1 M2M Communication Networks**

Comunicazioni tra Gateway M2M ed applicazioni M2M; cioè rete di accesso (xDSL, LTE, WiMAX e WLAN) ed Internet.

## **3.3 Applications Domain**

### **3.3.1 M2M Applications**

Contiene lo strato *middleware* in cui i dati passano attraverso vari servizi applicativi.

## **3.4 Comunicazione M2M su rete mobile**

Le reti cellulari sono progettate per le comunicazioni interattive Human to Human (voce, video) e per comunicazioni dati che prevedono il coinvolgimento dell'uomo (web browsing, download di file ecc); pertanto sono ottimizzate per le caratteristiche di traffico tipiche di questi scenari:

- Comunicazioni con una certa durata (sessione) ed un certo volume di dati
- Comunicazioni interattive (parlare/ascoltare).

Le comunicazioni M2M sono differenti perché inviano sporadici pacchetti dati utilizzando quindi l'infrastruttura di rete mobile in maniera non efficiente. Nasce quindi l'esigenza di ottimizzare le risorse allocate in tali scenari mediante la virtualizzazione delle reti di comunicazione permettendo una riduzione dei costi di installazione, una maggiore flessibilità nell'allocazione dinamica delle risorse e la possibilità di riutilizzare l'infrastruttura virtuale in differenti applicazioni verticali.

### 3.4.1 Proprietà e requisiti delle applicazioni M2M

|                               | Smart meters           | eHealth                | Sorveglianza       |
|-------------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|
| <b>Requisito mobilità</b>     | No                     | Pedonale/<br>Veicolare | No                 |
| <b>Modello di traffico</b>    | Regolare               | Irregolare             | Regolare           |
| <b>Densità dei device</b>     | Molto alta             | Media                  | Bassa              |
| <b>Requisito latenza</b>      | Bassa<br>(qualche ora) | Media<br>(secondi)     | Media<br>(<200 ms) |
| <b>Requisito affidabilità</b> | Alta                   | Alta                   | Alta               |
| <b>Requisito sicurezza</b>    | Alta                   | Molto alta             | Media              |

Figura 19: confronto proprietà e requisiti tra diverse applicazioni

### 3.4.2 Architettura M2M su rete cellulare mobile

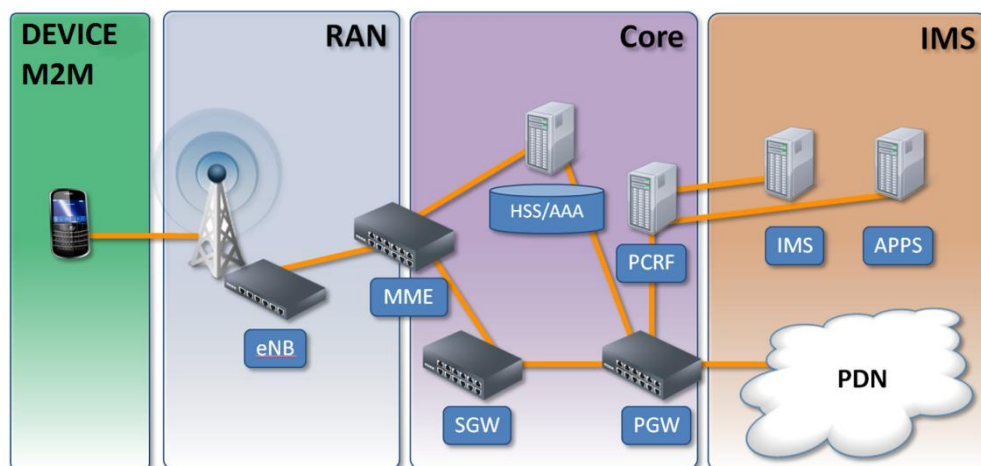


Figura 20: architettura rete cellulare

### **Sfide per l'accesso radio**

- Molti device
- Intervalli di *Idle* molto lunghi
- Trasmissione di piccoli messaggi
- Efficienza energetica

### **Sfide per lo strato di non-accesso**

Ogni trasmissione dati prevede una fase di setup che presenta le seguenti criticità:

- Complessità dovuta al gran numero di device coinvolti
- Grandi overhead per piccoli messaggi
- Gestione della congestione della rete

Dispositivi e applicazioni connesse promettono di rivoluzionare il settore wireless, ma oggi, la sfida consiste nel trovare una soluzione globale per ottimizzare l'utilizzo delle risorse di rete mobili in ambito M2M senza intaccare quelle attualmente utilizzate per il traffico voce e dati Human to Human. In particolare gli sforzi si concentrano su aspetti critici quali l'efficienza energetica, la scalabilità, l'affidabilità, la sicurezza, la QoS e la riduzione dei costi. Una delle possibili soluzioni consiste nella virtualizzazione della rete mobile per applicazioni M2M utilizzando il nuovo paradigma Network Function Virtualization (NFV).

Questo ambizioso risultato può essere raggiunto solamente con una vera sinergia tra tutti gli attori coinvolti.

## 4 M2M e NFV su rete mobile

### 4.1 Importanza di NFV in ambito M2M

Entro il 2022 ci saranno 18 miliardi di connessioni M2M a livello globale, contro circa 2 miliardi di oggi (come illustrato nella Figura 21), con un tasso di crescita annuale del 22%. Oggi circa il 23% dei dispositivi collegati può essere classificato come M2M, una cifra che crescerà al 61% nel 2022.

Le tecnologie cellulari cresceranno da 146 milioni di dispositivi a fine 2011 a 2,6 miliardi alla fine del 2022. Oggi, naturalmente, M2M è dominato dal 2G, in particolare GPRS. Entro il 2022, il 3G e l'LTE rappresenteranno quasi il 90% delle connessioni, a causa delle applicazioni che necessiteranno di maggiore larghezza di banda. [fonte: Machina Research, 2012]

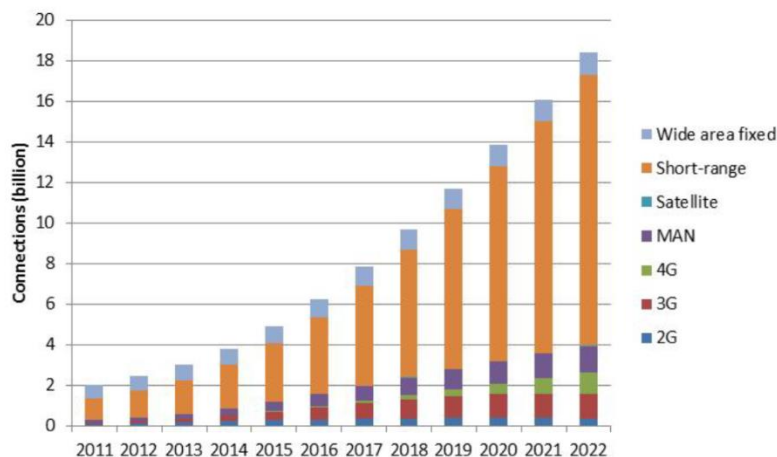


Figura 21: connessioni globali M2M 2011-2022 [Machina Research, 2012]

La sfida per gli operatori consiste nel cercare nuove soluzioni che possano rispondere alla crescente domanda di traffico mantenendo bassi i costi, senza sacrificare la qualità dei servizi e creando una rete che supporti la veloce innovazione ed espansione dei servizi. Per affrontare questa sfida è necessario comprendere in primo luogo le principali caratteristiche che contraddistinguono il business legato al mondo M2M:

- **Basso Average Revenue per unit( ARPU)** paragonato a quello garantito da un consumatore umano. Gli operatori devono quindi trovare soluzioni per ricavare profitti connettendo una gran quantità di dispositivi.
- I dispositivi sono molto diversi tra loro in base all'applicazione ed il traffico da essi prodotto richiede un **trattamento personalizzato**.



- È importante che l'architettura di rete garantisca il controllo di congestione e differenziazione in classi di servizio.
- È necessario consentire l'ingresso nel business dei servizi M2M anche a **terze parti**. Gli operatori hanno infatti bisogno di appoggio esterno per gestire tipologie di mercato poco familiari come trasporti e ambiente.

Una **core network virtualizzata**, per esempio una Evolved Packet Core( EPC), con meccanismi di QoS, è l'architettura appropriata per il traffico M2M. Questo tipo di architettura permette infatti ai framework di scalare e adattarsi ai bisogni variegati di più tipologie di mercati verticali (ovvero le diverse applicazioni M2M) ed è quindi la chiave per il successo nel business M2M.

Una core network virtualizzata e programmabile permette di personalizzare in tempi rapidi ogni tipologia di servizio M2M e di ottimizzare trattamenti diversificati per le varie tipologie di traffico.

#### **4.2 Traffico Web, mobile, M2M: radiografia di un'esplosione**

Secondo Cisco e le previsioni del suo nuovo *Visual Networking Index Forecast* [vedi Bibliografia 3], in cinque anni si prevede un volume di dati triplicato, ma per le soli reti mobili il traffico si moltiplicherà di tredici volte. Il traffico IP entro il 2017 supererà la soglia degli 1,4 zettabyte all'anno, cioè oltre un trilione di gigabyte all'anno, che equivale a circa tre volte i livelli del 2012. Su base mensile, si passerà dai 44 exabyte dello scorso anno ai circa 121 exabyte al mese entro il 2017, una mole di dati equivalente a 30 miliardi di contenuti DVD o a 28 trilioni di file MP3.

Come si diceva, l'impennata sarà ancora più marcata se da questo dato si scompone quello relativo al solo traffico generato da smartphone, tablet e chiavette Internet: si passerà dagli 0,9 exabyte mensili del 2012 a 11,2 exabyte stimati per il 2017, con un tasso di crescita annuo del 66%; il numero degli utenti mobile salirà da 3,78 miliardi a 4,63 miliardi circa (+4,1%), a dimostrazione di come sarà soprattutto il "consumo pro-capite" di dati, più che l'aumento della clientela mobile, a trainare la crescita.

A spingere verso questo tipo di scenario sarà non solo l'aumento della copertura territoriale e della banda larga, ma anche quello dell'utenza Internet, dal momento che secondo lo studio di Cisco entro il 2017 saranno connessi alla rete circa 3,6 miliardi di utenti, ovvero oltre il 48% della popolazione mondiale prevista in quel periodo (7,6 miliardi).

Conteggiando l'insieme dei dispositivi personali, desktop o mobili, e le connessioni machine-to-machine, nel 2017 esisteranno nel mondo oltre 19 miliardi di device connessi.

Globalmente, la velocità media delle reti fisse a banda larga aumenterà di 3,5 volte, passando nel quinquennio considerato da 11,3 Mbps a 39 Mbps.

Conseguenza della maggiore ampiezza di banda richiesta sarà l'accentuarsi di un fenomeno già osservato negli ultimissimi anni, ovvero il boom del traffico video. Oggi, su scala globale gli utenti connessi alla Rete genereranno 3 trilioni di minuti di contenuti video al mese, corrispondenti a 6 milioni di anni di filmati al mese. E questi valori sono certamente destinati a esplodere ancora, dato che si stima un raddoppio del numero di "consumatori" e creatori di video sul Web da qui al 2017 (da uno a due miliardi di persone).

Ultima e non meno significativa previsione riguarda il cosiddetto "**Internet of things**". La connessione in rete di oggetti fisici sta già mostrando una crescita tangibile e nel periodo 2012-2017 risulterà triplicata, passando da un conteggio di due a sei miliardi di device collegati e capaci di inviare e ricevere informazioni. Parallelamente, il traffico machine-to-machine annuale crescerà di 20 volte, dai 197 petabyte del 2012 (0,5% del traffico IP globale) ai 3,9 exabyte del 2017 (il 3% del traffico IP globale).

Lo studio *Vni Forecast* mostra la domanda apparentemente insaziabile di ampiezza di banda e fornisce una visione dei requisiti architetturali necessari per poter fornire esperienze di qualità. Con un numero sempre maggiore di persone, cose, processi e dati connessi all'Internet of Everything, le reti intelligenti sono fondamentali così come è fondamentale il ruolo dei service provider che le gestiscono.

#### **4.3 Mobile network pronte per il M2M**

L'industria M2M è pronta a fornire servizi per il settore pubblico, aziende, individui e famiglie. Grazie alle decine di miliardi di dispositivi M2M che saranno operativi, il M2M è destinata a diventare il prossimo segmento di mercato delle telecomunicazioni del valore di trilioni di dollari USA. L'ampia copertura delle reti mobili è in grado di soddisfare le esigenze di connettività ubiqua dei servizi e dei dispositivi M2M.

Nonostante l'attuale tasso di penetrazione basso, i servizi M2M forniti dalle reti mobili hanno un enorme potenziale di crescita. Attualmente, i servizi M2M sono per lo più basati sul (PS) dominio a commutazione di pacchetto.

## Sfide presentate dal M2M

Anche se creano nuove entrate per gli operatori, i servizi M2M pongono grandi sfide per le reti mobili:

- **Congestione:** è probabile che i dispositivi M2M per un settore particolare possano entrare in funzione in un determinato momento e richiedere l'accesso alla rete mobile in quel determinato momento, causando la congestione della rete e degradando la qualità degli altri servizi. Ciò richiede agli operatori della rete mobile di gestire in modo efficace una vasta gamma di servizi M2M per impedire ad un massiccio numero di dispositivi M2M di accedere alla rete nello stesso momento.
- **Diversi requisiti di QoS:** i vari servizi M2M sono caratterizzati da requisiti di QoS diversi. Per esempio, servizi di allarme hanno elevate esigenze per quanto riguarda il ritardo, la priorità e l'affidabilità. Al contrario, servizi di misura sono insensibili a ritardi e a questi possono essere assegnati priorità più basse per compensare la congestione della rete. Gli operatori hanno bisogno di studiare dei modi per distinguere il M2M dagli altri servizi, determinare la priorità dei servizi M2M ed eventualmente limitare l'accesso alla rete per proteggere i servizi non M2M quando si verifica congestione.
- **Servizi diversi:** i servizi M2M creano traffico diverso che non può essere smaltito da un unico modello di networking. Ad esempio, se M2M viene applicato per monitorare e prevenire le catastrofi naturali, un enorme numero di dispositivi M2M può avviare servizi simultaneamente, inviando una piccola quantità di dati innescato da un determinato evento. Poiché i dispositivi M2M, prima di avviare la vera e propria trasmissione di dati, usano traffico di segnalazione per collegarsi ad una rete mobile, la rete deve possedere elevata capacità di segnalazione e capacità di elaborazione, anche se il "payload" è limitato. Al contrario, il numero di dispositivi per applicazioni di videosorveglianza sono pochi, ma la richiesta di larghezza di banda è molto alta. D'altro canto, applicazioni come la misurazione sono basate su strumenti di misura posizionati sui dispositivi che hanno bassa mobilità e che quindi non necessitano di una gestione della mobilità complessa.
- **Basso ARPU:** i servizi M2M sono caratterizzati da un basso ARPU, quindi esiste la necessità di ridurre gli OPEX per generare profitti. Le reti di telefonia mobile di oggi non riescono a differenziare tra M2M e servizi non M2M, tutti sono collegati attraverso lo stesso PS e tutti incorrono ad alti OPEX. Ciò richiede agli operatori d'implementare una rete mobile che diversifichi i servizi M2M dai servizi non M2M e che limiti i costi per i servizi M2M.

- **Enorme numero di dispositivi:** ci saranno decine di miliardi di dispositivi M2M ed è essenziale identificarli tutti.

### **Ottimizzazione della rete step-by-step**

Questi problemi non possono essere affrontati in un colpo solo. Per ottimizzare le reti mobili e ridurre gli OPEX, gli operatori devono avviare un processo di adeguamento graduale ed in diverse fasi.

#### **Fase 1**

Nella prima fase, il mercato M2M è ancora piccolo ed i dispositivi M2M e non M2M condividono la stessa rete PS. L'ottimizzazione mira a ridurre il negativo impatto causato dall'introduzione di dispositivi M2M, ridurre al minimo possibile la congestione della rete e garantire la QoS per dispositivi non-M2M. Per esempio, quando la rete è congestionata, è possibile limitare l'accesso alla rete ai dispositivi M2M di bassa priorità e permetterla ai dispositivi non-M2M o quelli M2M con alta priorità.

#### **Fase 2**

Durante questa fase, i servizi M2M sono ampiamente utilizzati, ma gli abbonati non-M2M sono ancora più numerosi dei dispositivi M2M. Le reti mobili saranno ottimizzate secondo le caratteristiche del servizio M2M e dovranno identificare e classificare le caratteristiche del servizio dei diversi dispositivi M2M come bassa mobilità, bassa velocità di trasmissione dati ed insensibilità ai ritardi. Ad esempio, la gestione della mobilità può essere semplificata e le procedure di gestione della mobilità possono essere ridotte per i dispositivi a bassa mobilità e le reti possono essere configurate per supportare la trasmissione di dati a bassa velocità.

Diversi gateway devono essere distribuiti per soddisfare le diverse esigenze dei diversi servizi M2M riguardo alla capacità di segnalazione ed all'elaborazione.

#### **Fase 3**

In questa fase, il numero di dispositivi M2M sarà notevolmente maggiore del numero di abbonati non M2M. Per permettere l'accesso al servizio M2M, gli operatori dovranno implementare una rete mobile M2M separata.

#### 4.4 Architettura M2M su rete mobile

La Figura 22 mostra l'architettura di riferimento su cui è basata l'interazione tra dispositivi M2M e rete mobile.

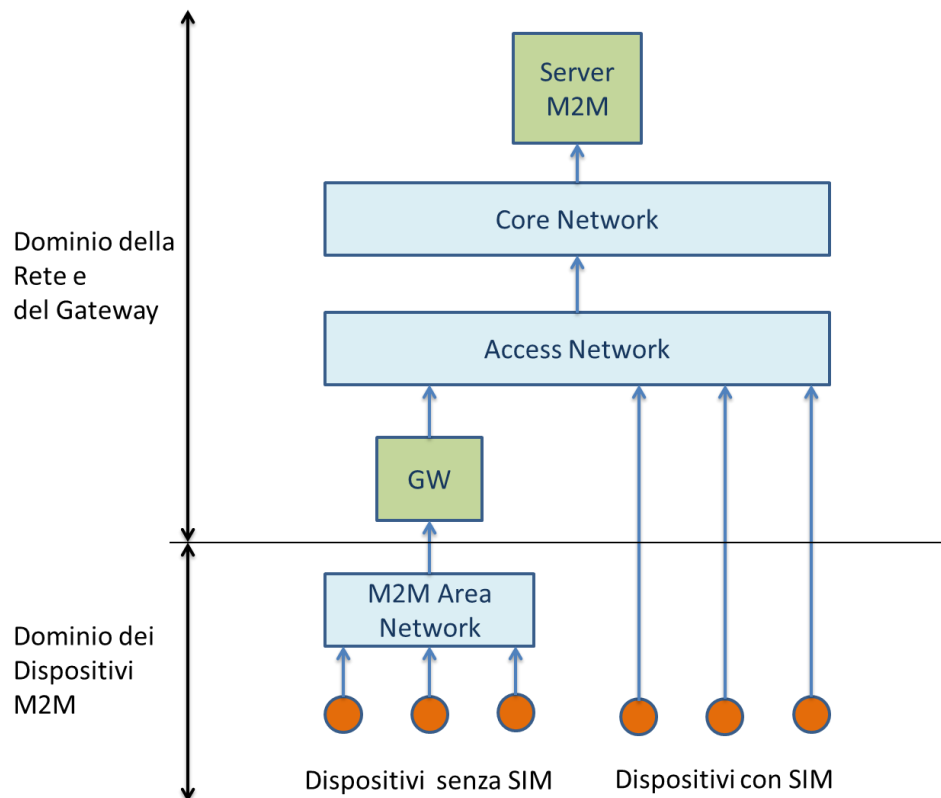


Figura 22 Architettura M2M su rete mobile

Considerando la varietà di servizi M2M con differenti requisiti, bisognerebbe essere in grado di supportare un'architettura flessibile in accordo con il tipo di applicazione M2M. In particolare, è possibile distinguere due architetture M2M.

##### 4.4.1 Connettività Single-hop

In questa architettura, i nodi M2M possono accedere direttamente alla rete, agendo come un normale dispositivo mobile in possesso di una SIM. Nella maggior parte dei casi, la rete tratta tali nodi nello stesso modo in cui tratta i telefoni tradizionali (anche se i nodi M2M possono avere diversi requisiti di QoS). Tuttavia, in alcuni particolari casi, la rete dovrebbe anche avere la capacità di garantire un trattamento speciale ai nodi M2M. Ad esempio, in 3GPP è stato richiesto che *eCall* venga trattata diversamente da un normale dispositivo. Il vantaggio di questa architettura è di essere in grado di utilizzare la copertura della rete mobile per fornire una connettività rapida e diretta.

#### 4.4.2 Architettura Two-hop con Gateway M2M

Oltre alla connettività diretta, è possibile avere un'architettura a due hop. In questa architettura, i nodi M2M saranno collegati al gateway che a sua volta collega i dispositivi M2M al resto della rete. Il primo salto è implementato tra i terminali M2M e un gateway M2M (aggregatore), mentre il secondo salto avviene tra il gateway e una stazione radio base della rete cellulare.

Il **gateway** gioca un ruolo fondamentale in questa architettura. Questo nodo aggregatore è l'unico accesso radio supplementare che è necessario per consentire ai dispositivi M2M di accedere alla rete. Questo pezzo di infrastruttura può essere considerato come un dispositivo che è installato in zone dove è richiesta la copertura. Mentre il gateway M2M deve essere consapevole del traffico M2M e fornire QoS ai nodi M2M, la stazione radio base deve essere trasparente nei confronti di tutto il traffico M2M che viene inoltrato alla core network. Il gateway può essere progettato per essere di maggiore complessità, consentendo la realizzazione di sofisticati sistemi di Tx/Rx (ad esempio MIMO, Tx/Rx in diversità) e di front-end RF di alta qualità. Infine, il gateway M2M deve presentare una certa intelligenza, mantenendo alcune funzioni come il filtraggio dei dati, inoltrando alla rete cellulare solamente il traffico necessario.

In entrambi i casi il traffico attraversa la core network ed è quindi particolarmente importante valutare l'impatto della virtualizzazione su tale porzione di rete.

#### 4.5 Benefici dall'utilizzo dell'NFV nella Mobile Core

I benefici cambiano a seconda di quali funzioni di rete vengono virtualizzate.

Per la mobile core network, i vantaggi attesi sono i seguenti:

- **Maggiore efficienza operativa:** una EPC in esecuzione su una infrastruttura standard NFV apporterà efficienza operativa attraverso la riduzione dei costi di rete ed operazioni semplificate.
- **Supporto del multi-tenancy:** una stessa infrastruttura può servire clienti diversi.
- **Multi funzione:** Più funzioni di rete della EPC possono essere configurate sulla stessa infrastruttura NFV. Questa funzionalità permette ai *mobile network operator* (MNO) di adattare la capacità della rete con le esigenze di servizio.
- **Time-to-market più breve** per i nuovi servizi: con un ecosistema più ampio e la capacità di modulare le risorse di rete, i MNO saranno in grado di offrire più servizi, più velocemente.

## 4.6 Mobile Core Network a pacchetto

### Architettura di riferimento

La Figura 23 illustra in maniera semplificata l'architettura logica di riferimento della mobile core network a pacchetto, evidenziandone le principali entità funzionali.

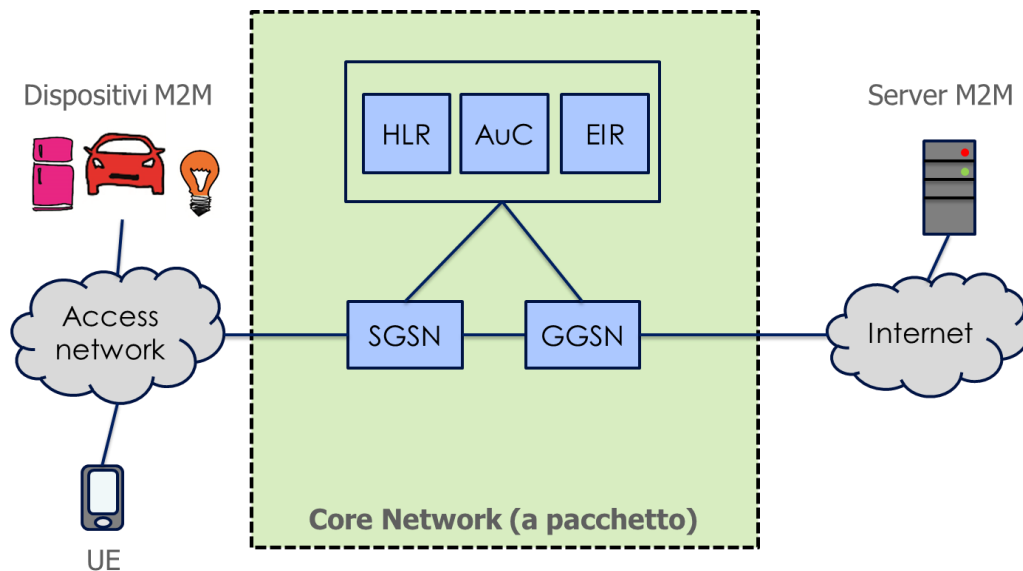


Figura 23: architettura logica della core network mobile a pacchetto

I principali elementi funzionali presenti nella mobile core network sono:

- **SGSN** (*Serving GPRS Support Node*): nodo di controllo responsabile per l'autenticazione degli utenti, la gestione della mobilità, il session management, la QoS, l'interfacciamento verso l'accesso radio, l'instradamento del traffico verso i GGSN e la gestione dei visitatori internazionali in roaming; l'SGSN è uno dei due elementi funzionali (insieme al GGSN) che sono stati introdotti per i servizi di tipo GPRS. Uno degli scopi principali di questo elemento funzionale è sovrintendere alla comunicazione a pacchetto all'interno dell'architettura di rete fissa del sistema GPRS, interfacciando la parte di rete che gestisce l'accesso radio con quella che si occupa della commutazione a pacchetto. L'SGSN è il diretto responsabile dei servizi a pacchetto definiti per una MS, includendo la gestione dell'autenticazione al servizio, di gestione della mobilità e della connessione alla MS a livello di link logico. Volendo paragonare le architetture di rete GSM e GPRS si può dire che l'SGSN è, per il sistema GPRS, l'analogo del MSC per il sistema GSM. L'SGSN può essere paragonato, in linea di principio, ad un router del mondo Internet a cui

sono aggiunte le funzionalità utili alla gestione di una connessione che può essere richiesta o essere diretta verso un utente mobile. L'SGSN si interfaccia con il VLR e con l'HLR per ottenere informazioni dettagliate sui mobili che sta gestendo all'interno della sua area.

L'SGSN assegna e rinegozia dinamicamente la QoS basandosi su 3 fattori:

- Profilo QoS (HLR) per tipo abbonamento GPRS
- Profilo QoS richiesto dalla stazione mobile
- Disponibilità risorse sulla rete GPRS

La QoS è definita su 4 parametri:

- *Service precedence*: priorità servizio su 3 livelli (alta, media, bassa)
  - *Reliability*: caratteristiche di trasmissione richieste dall'applicazione
  - *Delay parameters*: ritardo medio oppure ritardo sul 95% dei pacchetti
  - *Throughput*: bit rate di picco o bit rate medio
- 
- **GGSN** (*Gateway GPRS Support Node*): gateway responsabile dell'instradamento verso le reti dati esterne identificate da un APN (*Access Point Name*), ad esempio Internet, e l'assegnazione degli indirizzi IP ai terminali. Il GGSN presenta funzioni analoghe a quelle definite per il GMSC dell'architettura GSM. Il compito principale di questo elemento è quello di operare come interfaccia tra la rete a pacchetto interna e le reti a pacchetto esterne. Il GGSN converte i pacchetti GPRS provenienti dall'SGSN in un formato appropriato alla rete a pacchetto esterna verso cui devono essere instradati. Nella direzione opposta, attraverso le informazioni contenute nell'HLR, l'GGSN instrada i pacchetti in arrivo dalle reti esterne verso l'SGSN che gestisce il mobile in quel particolare momento. Tutti i GSN sono collegati attraverso una rete a pacchetto basata sulla suite di protocolli TCP/IP ed effettuano l'incapsulamento dei pacchetti di livello rete degli utenti su questa pila protocollare.
  - **HLR** (*Home Location Register*): database che contiene tutte le informazioni relative ai clienti di cui ha competenza, cioè i profili di sottoscrizione degli utenti e le chiavi per autenticazione degli utenti. Le informazioni possono essere sia di tipo permanente (es. numero telefonico, profilo di servizio...) sia di tipo temporaneo (es. l'indirizzo del VLR che ospita temporaneamente il cliente). L'HLR è interrogato quando è necessario individuare la posizione di un cliente.



- **Policy Manager:** piattaforma di controllo in grado di interagire con gli apparati di rete per modificare in tempo reale le politiche di trattamento traffico.
- **AuC (Authentication Center):** è l'unità funzionale incaricata di verificare la legittimità della richiesta di accesso alla rete da parte di un utente. Ogni volta che un MS riceve o effettua una chiamata, oppure durante i location update effettuati dalla rete, o ancora quando l'utente attiva o consulta servizi offerti dal gestore, l'AuC entra in gioco. Tramite sofisticati algoritmi chiamati A3 e A8, e con l'ausilio della chiave *Ki* e l'*IMSI* contenute nella SIM Card dell'utente, l'AuC oltre a verificare la vera identità dell'utente, si occupa anche di cifrare l'informazione sul canale radio, per proteggere gli abbonati da eventuali intercettazioni. L'AuC è l'unico database protetto perché in esso sono contenute informazioni vitali sia per l'utente che per il gestore.
- **EIR (Equipment Identify Register):** per verificare la validità di un terminale mobile che si connette alla rete, si sfrutta questo database. In esso sono contenuti i numeri *IMEI* che caratterizzano i terminali mobili, classificati in tre liste: *White List* (dispositivi omologati ed in regola), *Black List* (dispositivi bloccati perché rubati o non autorizzati), *Gray List* (tutti gli IMEI non omologati o appartenenti a dispositivi difettosi). Sebbene esso sia un'unità logicamente unica, non è raro trovarlo realizzato in modo distribuito. Inoltre è preferibile separarlo dagli altri registri.

#### 4.7 Soluzioni proposte da diversi vendor

Diversi produttori hanno iniziato a sviluppare soluzioni basate sulla virtualizzazione della core network EPC. Di seguito alcuni vendor coinvolti con le relative proposte.

##### Alcatel-Lucent

Alcatel-Lucent ha introdotto un portafoglio di funzioni virtualizzate per le reti mobili, che vanno dalla core network a pacchetto, all'*IMS* (IP Multimedia Subsystem) e all'accesso radio (*RAN*), in grado di migrare sul cloud. Questo permetterà agli operatori mobili di essere più agili ed efficaci nel rispondere alle esigenze dei clienti, con offerte innovative, maggior rapidità nell'introduzione di servizi per un vasto pubblico e con la possibilità di accelerare l'ingresso in nuovi mercati.

Il portafoglio di virtualizzazione delle funzioni di rete di Alcatel-Lucent (NFV- Network Function Virtualization) combina le competenze nell'ambito delle tecnologie di rete con le capacità cloud per aiutare gli operatori nel loro percorso verso la virtualizzazione, senza

degradare le prestazioni. È già impiegato da oltre 20 operatori che stanno incominciando ad adottare il modello NFV per le loro reti.

L'NFV richiama l'attenzione degli operatori perché permette loro di innovare più facilmente e nello stesso tempo permette il miglior ritorno sugli investimenti nelle infrastrutture di rete interamente basate sull'IP come quelle LTE. Permette di automatizzare la rete e di ottimizzare l'impiego delle risorse, con la massima scalabilità (up e down) dei servizi. Applicato correttamente, ottimizza l'erogazione dei servizi quali *VoLTE* (*Voice over LTE*), le comunicazioni web in tempo reale (*Web RTC*), la comunicazione mobile sicura per l'enterprise e quella machine-to-machine. Inoltre, l'NFV riduce tempi e costi di time to market di questi servizi.

Il portafoglio virtualizzato include:

- Una ***Evolved Packet Core virtualizzato*** (*vEPC*): automatizza l'autenticazione e la gestione degli utenti e dei servizi cui essi accedono nonché la creazione e la connettività a servizi all'interno della rete dell'operatore e nell'Internet su larga scala, con la qualità e le prestazioni che gli utenti chiedono. La *vEPC* di Alcatel-Lucent fa leva su un software testato nelle reti dei principali operatori mobili mondiali. L'azienda al momento è impegnata in trial con cinque clienti che usano la *vEPC*.
- Una soluzione ***IMS virtualizzata*** (*vIMS*): una piattaforma di comunicazione in cloud per offrire un portafoglio di servizi multimediali su reti IP, ancora più ricco. Il *vIMS* di Alcatel-Lucent contempla le più recenti tecnologie open cloud. Il *vIMS* di Alcatel-Lucent è già presente in alcune reti di clienti
- Un portafoglio ***RAN virtualizzata***: comprende un RNC 3G virtualizzato (*Radio Network Controller*) e un proof of concept virtualizzato della RAN (*Radio Access Network*) LTE e LTE-advanced. I componenti LTE fanno leva sul software LTE di Alcatel-Lucent, presenti in otto tra le maggiori dieci reti mobili, e su algoritmi wireless avanzati dei Bell Labs.

## Alcatel-Lucent vEPC

La *Evolved Packet Core virtualizzata* (vEPC) di Alcatel-Lucent è un insieme di prodotti software che virtualizza tutte le funzioni di rete del packet core mobile. Si utilizza lo stesso software applicativo in ciascuno dei prodotti offerti e supporta la convergenza tra reti 2G/3G/LTE e Wi-Fi. Di seguito sono presentati i diversi componenti software che costituiscono la vEPC di Alcatel-Lucent con le relative funzioni virtualizzate:

- **Packet processing and service delivery.** Il *Service Router Alcatel-Lucent 7750* fornisce le funzioni di rete tipiche di un LTE Serving Gateway virtualizzato (vSGW), di un Packet Data Network Gateway virtualizzato (vPGW) e di un Gateway GPRS Support Node virtualizzato (vGGSN).
- **Signalling and mobility management.** Il *Wireless Mobility Manager software (WMM) 9471* di Alcatel-Lucent ed è progettato per supportare i carichi crescenti di segnalazione sul packet core. Supporta la Mobility Management Entity virtualizzata (vMME) e il Serving GPRS Support Node virtualizzato (vSGSN).
- **Policy and charging.** Il *Dynamic Services Controller (DSC) 5780* di Alcatel-Lucent è un software che virtualizza le funzioni tipiche della Policy and Charging Rules Function (PCRF), il Diameter Control Point(DCP), la Access Network Discovery Selection Function(ANDSF) e il Smart Plan Builder.
- **Element and network management**  
Il *Service Aware Manager (SAM) 5620* di Alcatel-Lucent è un elemento che fornisce operazioni semplificate e avanzate capacità di risoluzione dei problemi IP di tutta la rete wireless, compreso il packet core, il mobile backhaul e l'LTE Radio Access Network (RAN). Il SAM può essere virtualizzato (vEMS) e fornisce un'interfaccia comune per gestire le funzioni di rete sia virtualizzate che fisiche.

## CISCO

Con un numero sempre crescente di persone, dispositivi, macchine e sensori che vanno online attraverso *l'Internet of Everything (IoE)*, i service provider hanno bisogno di nuove funzionalità per primeggiare nella distribuzione di servizi e applicazioni a valore aggiunto basati su cloud. *Cisco Evolved Services Platform (ESP)*, una piattaforma elastica ed estendibile, è il risultato di numerosi anni di sviluppo ingegneristico incentrato su tre principi fondamentali della strategia di virtualizzazione dei service provider:

- La rete è sempre più virtualizzata e la virtualizzazione è sempre di più riferita alla rete;
- La virtualizzazione deve essere un'estensione dell'infrastruttura di rete;
- La virtualizzazione non dovrebbe essere limitata a un'attività, bensì essere applicata a tutta la rete.

### Cisco Evolved Services Platform (ESP)

Cisco ESP è una piattaforma software per la virtualizzazione e l'orchestrazione unificata che crea, automatizza e fornisce i servizi in tempo reale alle attività di rete, storage e di calcolo assicurando i risultati di business desiderati per le applicazioni in esecuzione su più domini. Cisco ESP permette ai service provider di offrire il giusto tipo di esperienza a seconda dell'esigenza del cliente, indipendentemente da come si connette alla rete (ad esempio tramite rete fissa, mobile o Wi-Fi).

L'architettura Cisco ESP è contraddistinta da alcune caratteristiche principali, tra cui:

- **Aperta:** Cisco ESP è una suite multi-vendor, basata su standard aperti e integra *Openstack* e il protocollo *Open Daylight (SDN)*, è conforme a *ETSI NFV MANO* e *3GPP*. Grazie all'interoperabilità con i software di terze parti, Cisco ESP lavora sia con le funzioni e le applicazioni Cisco che con quelle di altri vendor come *Broadsoft*, *Metaswitch Networks* e *Openwave Mobility*.
- **Estensibile:** Cisco ESP offre la più ampia gamma di funzionalità che toccano l'intera architettura del service provider (cloud, video, mobile e fissa) fornendo loro più strumenti per ottimizzare le reti e automatizzare la creazione di nuovi servizi in base alle esigenze di business.
- **Elastica:** Cisco ESP permette ai service provider di adattare in modo dinamico i servizi esistenti e di velocizzare l'implementazione di nuovi servizi e attività di rete. Le risorse sono utilizzate in modo automatico, dove e quando vi sia la necessità.

Cisco ha presentato tre nuove modalità in cui i service provider possono acquistare queste soluzioni:

- **Funzionalità virtuali:** singole funzionalità virtuali possono essere acquistate indipendentemente come moduli separati e gestiti singolarmente in una qualsiasi rete di computer (ad esempio un hardware indipendente e un hypervisor indipendente).
- **Orchestrazione:** funzionalità virtualizzate e orchestrate, che consentono i vantaggi delle differenti modalità di approccio “di rete” o “service chaining” per fornire maggiori funzionalità e ampliare ulteriormente le opportunità di mercato.
- **Pod:** funzionalità di servizio virtualizzate, unite con l’orchestrazione e un pacchetto hardware. Grazie a queste funzionalità Cisco favorisce l’adozione di Cisco ESP offrendo contratti di servizio e prestazioni garantite, a partire dalle infrastrutture Cisco e includendo i servizi di consulenza della società.

## NEC

Ha introdotto *vEPC*, una delle prime soluzioni commerciali per la virtualizzazione della core network LTE. NEC *vEPC* può essere dispiegata su commodity server *COTS* e disaccoppia le funzionalità della rete EPC dall’infrastruttura hardware sottostante. Semplifica le operazioni di gestione dei pacchetti e fornisce API per l’integrazione di nuove applicazioni.

La virtualizzazione interessa due funzionalità di rete in particolare: **vMME (Mobility Management Entity)** e **vS/P-GW (Serving/PDN-Gateway)**. Queste funzioni di rete virtuali vengono decomposte in macchine virtuali elementari. A livello di management, questa decomposizione offre la possibilità di gestire, dispiegare e scalare in maniera indipendente ciascuna unità elementare; a livello funzionale invece, garantisce la separazione delle funzionalità del *control plane* da quelle del *data plane*. Ogni unità logica elementare può quindi scalare in base alla particolare applicazione. Per esempio, per un’applicazione M2M con un elevato traffico nel C-plane possono essere allocate un numero maggiore di unità operanti nel C-plane, mentre un’applicazione di video streaming può avere più risorse nel U-plane.

## 5 Funzioni di rete ottimizzabili per applicazioni M2M

I servizi M2M che utilizzano la rete mobile, creano traffico diverso che non può essere smaltito da un unico modello di networking. Ad esempio, se il M2M viene utilizzato per monitorare e prevenire le catastrofi naturali, un enorme numero di dispositivi M2M, innescati da un determinato evento, possono avviare servizi simultaneamente, inviando una piccola quantità di dati. Poiché i dispositivi M2M, prima di avviare la vera e propria trasmissione di dati, usano traffico di segnalazione per collegarsi ad una rete mobile, la rete deve possedere elevata capacità di segnalazione e capacità di elaborazione, anche se il “payload” è limitato. Al contrario, il numero di dispositivi per applicazioni di videosorveglianza sono pochi, ma la richiesta di larghezza di banda è molto alta. D’altro canto, applicazioni come la misurazione sono basate su strumenti di misura posizionati sui dispositivi che hanno bassa mobilità e che quindi non presentano la necessità di gestione della mobilità complessa.

I dispositivi M2M utilizzano pertanto le risorse della rete mobile in maniera molto diversa rispetto agli usuali terminali mobili a causa delle specifiche caratteristiche che contraddistinguono le varie applicazioni. Tali caratteristiche possono comportare un uso poco efficiente della rete oppure grossi problemi di congestione e sovraccarico.

Ci si concentra su due aspetti caratteristici di molte applicazioni M2M: la **bassa mobilità** e l'**elevato traffico di segnalazione**. In particolare, dopo aver descritto brevemente questi due aspetti, vengono proposte per ciascuno di essi diverse soluzioni, descrivendo le nuove funzioni che andrebbero implementate e l’impatto delle modifiche sugli elementi di rete interessati. [vedi Bibliografia 4].

### 5.1 Problema: gestione della bassa mobilità

Per un dispositivo M2M con scarsa mobilità è possibile distinguere diversi casi:

- Non si sposta frequentemente e può muoversi solo all'interno di una piccola area;
- Non si sposta frequentemente, ma può circolare in un'area molto ampia;
- Generalmente non si muove, cioè ha una postazione fissa.

Per questi tipi di dispositivi M2M, si studia come ridurre la frequenza delle procedure di gestione della mobilità e come ottimizzare il *paging*. Di seguito alcune soluzioni proposte.

#### 5.1.1 Soluzione 1: ottimizzazione del Paging

La procedura di *paging* è utilizzata dalla rete per rintracciare un dispositivo mobile e informarlo di un servizio entrante. Conoscendo a priori il grado di mobilità del dispositivo mobile è possibile intervenire per ridurre il traffico di *paging*.

### **Paging all'interno di un'area prefissata**

Per i dispositivi M2M che non si muovono di frequente o si spostano solo all'interno di una piccola area, l'area di *paging* è configurata nell'HLR come parte della sottoscrizione dell'abbonato M2M. L'SGSN memorizza la zona di *paging* come parte dei dati del profilo di sottoscrizione ricevuti dall' HLR.

L'area di *paging* configurata si presume essere più piccola delle aree tipiche di *paging* per gli altri UE. In tal modo il traffico di *paging* può essere ridotto.

Un problema potrebbe essere riconfigurare i dati di sottoscrizione quando la rete riconfigura alcune celle o il dispositivo M2M è in roaming.

### **Paging stepwise**

Per il dispositivo M2M con scarsa mobilità, l'SGSN immagazzina il RAI/TAI come per qualsiasi altro UE e memorizza anche gli identificativi relativi all'ultima cella nota o all'ultima *serving area* conosciuta , fornita dalla RAN nella segnalazione.

L'SGSN può fare *paging* in modo graduale (stepwise), ad esempio, prima nell'ultima cella nota o l'ultima *serving area* conosciuta e se non vi è alcuna risposta, l'SGSN chiama il dispositivo M2M in una zona più ampia, vale a dire entro la lista RAI o TAI assegnata al dispositivo M2M.

### **Paging in una reported area**

Per il dispositivo M2M con una postazione fissa (cioè che non si muove normalmente), che può essere dedotta dall'SGSN quando riceve l'identificatore di area (*CGI, SAI, RAI o TAI*) tramite segnalazione, l'SGSN memorizza l'identificatore dell'area e chiama il dispositivo M2M all'interno dell'area specifica.

Quando il dispositivo M2M si muove (ad esempio per scopi di manutenzione), l'SGSN rileva il movimento e lo chiama all'interno della nuova zona che è riportata dalla RAN o dal dispositivo M2M in modo esplicito.

### **Impatto sugli elementi della rete**

Gli elementi coinvolti nelle diverse soluzioni di diversa gestione del *paging* sono:

- **SGSN:** è necessario modificare i criteri con cui vengono attuate le procedure di *paging*.
- **HLR:** si deve prevedere l'aggiunta dell'identificativo dell'area di *paging* tra le informazioni del profilo di sottoscrizione del dispositivo

### 5.1.2 Soluzione 2: ottimizzazione delle procedure di LAU/RAU

Questa soluzione consiste nel modificare le procedure periodiche di **Location Area Update (LAU)** o **Routing Area Update (RAU)** sulla base d'informazioni note relative alla mobilità dei dispositivi M2M coinvolti.

Se i dispositivi si muovono molto raramente e in un'area circoscritta non è necessario fornire frequentemente alla rete informazioni sulla posizione ed è quindi possibile aumentare l'intervallo di tempo che definisce il periodo di LAU/RAU in modo da far eseguire tali procedure più raramente. Allo stesso modo si potrebbe aumentare il *reachable timer* del dispositivo o addirittura disabilitare completamente i timer.

I nuovi valori dei timer o lo specifico codice che ne definisce la disattivazione possono essere memorizzati nell'HLR come informazioni facenti parte del profilo di sottoscrizione del dispositivo. L'SGSN potrebbe in questo caso prelevare i valori dei nuovi timer dall'HLR durante la fase di attach. Un'altra soluzione consiste nell'evitare di memorizzare queste informazioni nell'HLR e permettere direttamente all'SGSN di aumentare o disabilitare i timer.

#### Impatto sugli elementi della rete

I seguenti elementi dovrebbero essere in grado di svolgere nuove funzioni :

- **HLR :**
  - Supportare la configurazione e la memorizzazione delle informazioni relative ai timer di LAU/RAU periodici come parte delle informazioni di sottoscrizione dei dispositivi M2M;
- **SGSN:**
  - Gestire le informazioni relative ai nuovi timer in accordo con quanto memorizzato nel HLR;
  - Impostare i nuovi valori dei timer nel caso in cui essi non siano presenti nel HLR;
- **Dispositivo M2M:**
  - Reimpostare i valori dei timer ed effettuare le procedure di LAU/RAU periodiche utilizzando i nuovi valori.



## 5.2 Problema: elevato traffico di segnalazione

I dispositivi M2M potrebbero entrare in funzione in un determinato momento e richiedere l'accesso alla rete mobile contemporaneamente, causando la congestione della rete e degradando la qualità degli altri servizi. Il sovraccarico della rete e il rischio di congestione sono causati in particolare da:

- Un evento esterno che induce un gran numero di dispositivi ad effettuare l'*attach* alla rete nello stesso momento.
- Applicazioni in cui i dispositivi sono sincronizzati per connettersi in istanti di tempo prefissati.

Molti problemi di congestione potrebbero essere evitati a monte se le applicazioni M2M fossero programmate in maniera opportuna in modo da utilizzare adeguatamente le risorse di rete. Tuttavia gli operatori di rete hanno un'influenza molto limitata sullo sviluppo delle applicazioni e devono quindi essere in grado di far fronte a situazioni di congestione della rete dovuta al traffico di segnalazione indipendentemente dalle modalità di sviluppo delle applicazioni M2M. Di seguito alcune soluzioni proposte.

### 5.2.1 Soluzione 1: Raggruppamento dei dispositivi M2M

Per il controllo e la gestione, i dispositivi M2M possono essere raggruppati per soddisfare l'esigenza degli operatori. Questo approccio può fornire una modalità più semplice per controllare e/o aggiornare i dispositivi M2M, che si può tradurre in una riduzione della segnalazione evitando dunque la congestione. I dispositivi M2M all'interno dello stesso gruppo possono trovarsi nella stessa zona e/o avere le stesse caratteristiche e/o appartenere allo stesso utente. La rete assegna al gruppo un identificativo ed è in grado di sapere quali dispositivi appartengono ad un certo gruppo.

### 5.2.2 Soluzione 2: Request Reject da parte del SGSN

L'SGSN può rifiutare una richiesta di connessione verso un determinato APN dopo aver individuato una situazione di congestione, oppure dopo aver ricevuto una segnalazione di congestione da parte del GGSN. L'SGSN può anche rifiutare le richieste di connessione dirette verso un particolare gruppo di dispositivi M2M. L'identificativo del gruppo M2M può essere memorizzato dall'SGSN durante la procedura di *attach*, prelevandolo dall'HLR come parte del profilo di servizio. Quando riceve una richiesta, l'SGSN controlla se il dispositivo fa parte di un gruppo che sta causando la congestione e rifiuta la richiesta.

Per evitare che i dispositivi effettuino la richiesta di *attach* o di connessione immediatamente dopo il rifiuto, l'SGSN può impostare un **meccanismo di back-off** specificandolo all'interno del *messaggio di reject*. Il tempo di back-off deve essere reso random e questa operazione può essere eseguita sia dall'SGSN sia dai dispositivi M2M. L'SGSN memorizza il periodo di back-off e rifiuta le richieste pervenute in quell'intervallo. Il *messaggio di reject* potrebbe contenere anche informazioni sulla natura della congestione, in modo da rendere il dispositivo in grado di prendere contromisure.

Il meccanismo del back-off può anche essere usato per limitare la congestione dovuta alle applicazioni in cui i dispositivi accedono in maniera sincronizzata.

### **Impatto sugli elementi della rete**

Alcuni elementi della rete devono essere modificati per consentire l'implementazione delle soluzioni discusse precedentemente, in particolare è necessario implementare funzioni aggiuntive per i diversi elementi:

- **SGSN:**
  - rifiutare una richiesta di connessione verso un particolare APN;
  - rifiutare una richiesta di connessione da parte di un dispositivo M2M appartenente ad un particolare gruppo;
  - individuare il gruppo di appartenenza di un dispositivo M2M sulla base delle informazioni contenute nell'HLR;
  - determinare se un gruppo M2M o un particolare APN sta causando una congestione;
  - elaborare di un *messaggio di reject*;
- **Dispositivi M2M:**
  - negoziare un algoritmo di back-off;
  - ritardare le richieste in accordo con il meccanismo di back-off;
- **GGSN**
  - individuare le situazioni di congestione;
  - determinare l'APN o il gruppo M2M che causa la congestione;
  - indicare all'SGSN gli elementi che causano la congestione;
  - suggerire all'SGSN gli intervalli di back-off da usare;
- **HLR**

- memorizzare l'identificativo del gruppo M2M come parte delle informazioni di profilo.

#### **Benefici:**

- Richiede la modifica dei nodi di rete appartenenti soltanto alla core network senza intervenire sulla rete di accesso;
- Utilizzando meccanismi di back-off, ai dispositivi M2M non è consentito generare ulteriore traffico di segnalazione evitando quindi la congestione sia della rete di accesso sia della core.

#### **Problemi:**

- richiede la modifica di numerosi elementi della core e anche di dispositivi.

### **5.2.3 Soluzione 3: Low Priority Access Indication**

I vari servizi M2M sono caratterizzati da requisiti di QoS diversi. Per esempio, servizi di allarme hanno elevate esigenze per quanto riguarda il ritardo, la priorità e l'affidabilità. Al contrario, servizi di misura sono insensibili a ritardi e a questi possono essere assegnati priorità più basse per compensare la congestione della rete. Sarebbe necessario distinguere i servizi M2M dagli altri, determinarne la priorità ed eventualmente limitarne l'accesso alla rete per proteggere i servizi non M2M quando si verifica congestione.

Questa soluzione introduce il concetto in base al quale i tentativi d'accesso di alcuni dispositivi M2M o applicazioni possono essere trattati come richieste a bassa priorità. Nel caso di congestione a causa di molte richieste di connessione simultanee potrebbe essere utile rifiutare le richieste di connessione. Un'indicazione di priorità "**Low-Priority-Access**" può essere utilizzato per determinare se rifiutare la richiesta di servizio o permettere l'*attach* a seconda del carico corrente. In caso di condizione di sovraccarico della RAN si può prendere la decisione di respingere tali richieste senza ulteriore propagazione di segnalazione nella core network. Inoltre, la RAN può utilizzare l'indicatore "Low-Priority-Access" per segnalare ad un dispositivo con priorità bassa, un ***back-off time*** maggiore rispetto al *back-off* inviato ad un normale UE (per esempio un tentativo di una chiamata vocale). L'SGSN può avviare procedure di sovraccarico gradualmente, in primo luogo riducendo il traffico a bassa priorità. L'SGSN può notificare alla RAN di consentire tutto il traffico eccetto quello a bassa priorità. Quando lo stato della rete è normale, i dispositivi M2M a "bassa priorità" saranno accettati dalla rete. Quando la rete inizia a diventare congestionata, i dispositivi M2M a bassa priorità già collegati possono essere disconnessi dalla rete.

## Impatto sugli elementi della rete

- **Rete di accesso:**
  - gestire le richieste di accesso anche sulla base del nuovo indicatore di *Low-Priority-Access*
- **SGSN:**
  - creare un indicatore “Low Priority Access”
  - elaborare un *messaggio di reject*,
  - meccanismo di *back-off*,
- **Dispositivi M2M:**
  - utilizzare i criteri di accesso basati sull'indicatore di *Low-Priority-Access* in accordo con il contratto stipulato tra operatore di rete e gestore del servizio M2M.

### 5.2.4 Soluzione 4: Controllo sovraccarico con *access grant time interval*

Sviluppata per restringere l'accesso solamente ai dispositivi M2M, questa soluzione raccomanda che ogni dispositivo M2M possieda un indicatore con cui la rete può distinguerli dai dispositivi normali non M2M. Per implementare questo metodo, l'operatore di rete deve impostare un limite superiore al numero di UE attaccati alla rete. Sono determinati una serie d'intervalli temporali all'interno dei quali i dispositivi M2M sono autorizzati a richiedere l'*attach*. In alcuni casi, anche all'interno di questi slot temporali, la rete si trova nelle condizioni di dover rifiutare le richieste di *attach* da parte dei dispositivi M2M e dire a ciascuno di tali dispositivi di inviare nuovamente la richiesta in un altro slot temporale. In ciascun intervallo temporale, l'SGSN controlla il numero di dispositivi non M2M e calcola il margine tra questo numero e il suddetto limite superiore; questo margine viene considerato come numero massimo di dispositivi M2M che possono collegarsi in quel momento. Se il numero di dispositivi M2M attualmente collegati è inferiore a quella massima, l'SGSN accetta le richieste di *attach* da dispositivi M2M finché il numero di dispositivi M2M raggiunge il numero massimo, altrimenti le richieste vengono respinte.

## Impatto sugli elementi della rete

- **SGSN:**
  - deve essere in grado di distinguere i dispositivi M2M da quelli non M2M (H2H).
  - deve conoscere gli intervalli di tempo nei quali i dispositivi M2M possono richiedere l'*attach* e deve essere in grado di rifiutare l'*attach* al di fuori di questi slot temporali.

- **Dispositivi M2M:**

- devono informare la rete di appartenere alla categoria dei dispositivi M2M.
- devono essere in grado di richiedere l'*attach* negli slot temporali consentiti.

#### **5.2.5 Soluzione 5: Allocazione flessibile delle risorse di rete**

Un'altra possibile soluzione potrebbe essere quella di prevedere un meccanismo che permetta di allocare dinamicamente le risorse di rete, in base al volume di traffico che bisogna smaltire in un dato momento.

Per questa soluzione risulta indispensabile l'impiego di tecniche di virtualizzazione delle funzioni di rete (NFV). Con queste tecniche è infatti possibile, in pochi minuti, attivare e rendere disponibile una o più macchine virtuali che facciano fronte al carico offerto alla rete, per esempio mediante meccanismi di *load balancing*.

Le varie soluzioni passate in rassegna sono solo alcuni esempi di possibili rimedi che mostrano come le caratteristiche specifiche delle applicazioni M2M possano essere sfruttate per utilizzare le risorse di rete in maniera più efficiente ed evitare o prevenire problemi di sovraccarico e congestione. Ogni soluzione prevede tuttavia la modifica di determinate funzioni o procedure, che si traduce nella necessità di intervenire sugli elementi della rete già esistente per adattarli alle nuove funzionalità. In questo contesto risulta vantaggioso studiare in che misura l'uso di tecniche di virtualizzazione delle funzioni (NFV, Network Function Virtualization) possa facilitare il processo di modifica e adattamento degli elementi della rete.

## 6 Soluzioni Open Source per la realizzazione software di elementi della rete mobile

### 6.1 Osmocom

**Open Source Mobile Communication** (<http://osmocom.org/>) è un progetto che comprende diversi software open source nel campo delle mobile communication. In particolare questi software spaziano dalla telefonia mobile GSM/GPRS alla telefonia cordless DECT, passando per lo standard TETRA (equivalente del APCO25 in USA) e GMR.

L'obiettivo di queste implementazioni è quello di fornire gratuitamente i codici sorgente dei software, che sono gli aspetti chiave per incoraggiare la ricerca nel campo delle comunicazioni e per assicurare che i dettagli tecnici/implementativi di questi sistemi non rimangano appannaggio dei produttori di dispositivi hardware.

Ai fini di questo lavoro ci si concentra solamente su quella parte che riguarda la rete cellulare mobile.

#### 6.1.1 OpenBSC

OpenBSC è il gruppo di progetto dei componenti GSM.

Si compone di molti utility software e programmi stand-alone su misura per configurazioni specifiche GSM. Ci sono due principali applicazioni BSC separate all'interno del progetto, Osmo-NITB e Osmo-BSC.

**Osmo-NITB** (Network in the Box) è una rete GSM stand-alone che combina le funzionalità di una BSC con quelle tipiche di MSC, HLR, VLR, EIR, e l'AUC in un unico pacchetto. Questa soluzione è utilizzabile per piccole reti private (per esempio PBX) e non dipende da altre componenti esterne.

**Osmo-BSC** è una versione che implementa solamente la BSC e non emula gli altri elementi citati prima nel caso dell'Osmo-NITB. Questa soluzione è utilizzabile da operatori che già dispongono di una core network (MSC, HLR, VLR, EIR, e l'AUC).

#### 6.1.2 OsmoSGSN / OpenGGSN

È un'implementazione software del Serving GPRS Support Node (SGSN) e del Gateway GPRS Support Node. Questo progetto estende la rete GSM ad una rete GPRS/EDGE realizzando le sue tipiche funzionalità. Il SGSN è connesso tramite l'interfaccia Gb alla BSS e tramite il protocollo GTP al GGSN.

Questo software può essere utilizzato per esempio per testare dispositivi M2M usando una propria rete fatta da BTS+SGSN+GGSN oppure per attività di ricerca (per esempio analizzare il traffico dati delle apps).

### **6.1.3 SGSNemu**

SGSNemu fa parte del progetto OpenGGSN ed implementa le interfacce Gn/Gp che vengono usate verso i GGSN.

### **6.1.4 OsmoBTS**

Il suo codice implementa, dal Layer 2 in poi, una convenzionale BTS GSM (Base Transceiver Station) e realizza il collegamento con OpenBSC.

### **6.1.5 OsmocomBB**

Realizza un *baseband processor firmware* di un mobile phone (MS).

## **6.2 OpenSS7 Project**

*OpenSS7 Project* è un progetto software open source che ha sviluppato molti componenti dello stack protocollare SS7, SIGTRAN, ISDN e VoIP.

### **6.2.1 GSM/MAP HLR GPRS**

È un progetto, nato nel 2001, che mirava a fornire un HLR per lo stack OpenSS7. Secondo quanto riportato alla pagina <http://www.openss7.org/map.html> il progetto è in una fase di stallo dal 2008.

## **6.3 OpenBTS**

OpenBTS (Open Base Transceiver Station) è un software open source che è stato sviluppato ed è mantenuto da Gamma Networks. OpenBTS funge da access point GSM.

OpenBTS consegna le chiamate tramite SIP ad un soft switch VOIP (come FreeSWITCH) o PBX (ad esempio Asterisk) che possono essere installate sulla stessa macchina nella quale è installato OpenBTS. L'interfaccia radio è implementata usando il SDR (Software Defined Radio) con hardware non dedicato.

Tralasciando la rete d'accesso, che può comunque essere realizzata via software utilizzando soluzioni open source come OpenBTS, vale la pena tentare la realizzazione di una core network interamente o parzialmente via software utilizzando in particolare le soluzioni facenti parte del progetto Osmocom.

## 7 Implementazione della rete

È stata dispiegata una rete GPRS utilizzando le componenti software offerte dal progetto *OpenBSC* [1]. In particolare queste componenti software vengono eseguite su macchine virtuali istanziate in ambiente *VirtualBox*, vedi Figura 24. In Appendice è disponibile un manuale d'installazione delle varie componenti OpenBSC

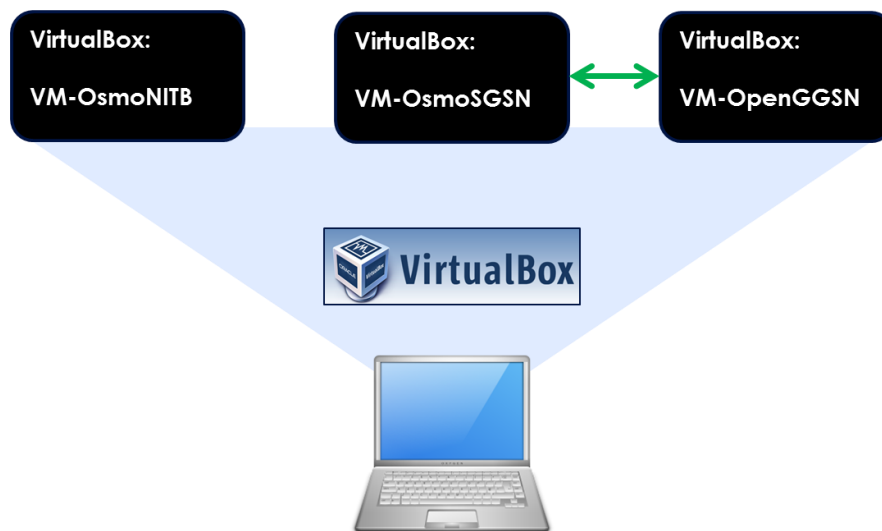


Figura 24: Installazione degli elementi OpenBSC su macchine virtuali

### 7.1 Strumenti utilizzati

- Notebook con processore Intel® Core® i7-3610QM CPU 2.3 GHz dotato di una memoria RAM di 8 GB con sistema operativo Ubuntu 14.04 a 64 bit.
- Software open source per l'esecuzione di macchine virtuali: Oracle VM VirtualBox.
- 3 Macchine virtuali con le seguenti caratteristiche:
  - RAM 1 GB
  - Sistema operativo Ubuntu 14.04

Le 3 VM utilizzate hanno la seguente denominazione:

*VM-NITB*, *VM-SGSN* e *VM-GGSN* e su queste vengono rispettivamente eseguite *Osmo-NITB*, *OsmoSGSN* ed *OpenGGSN*.

La topologia e gli indirizzi IP usati sono mostrati in Figura 25



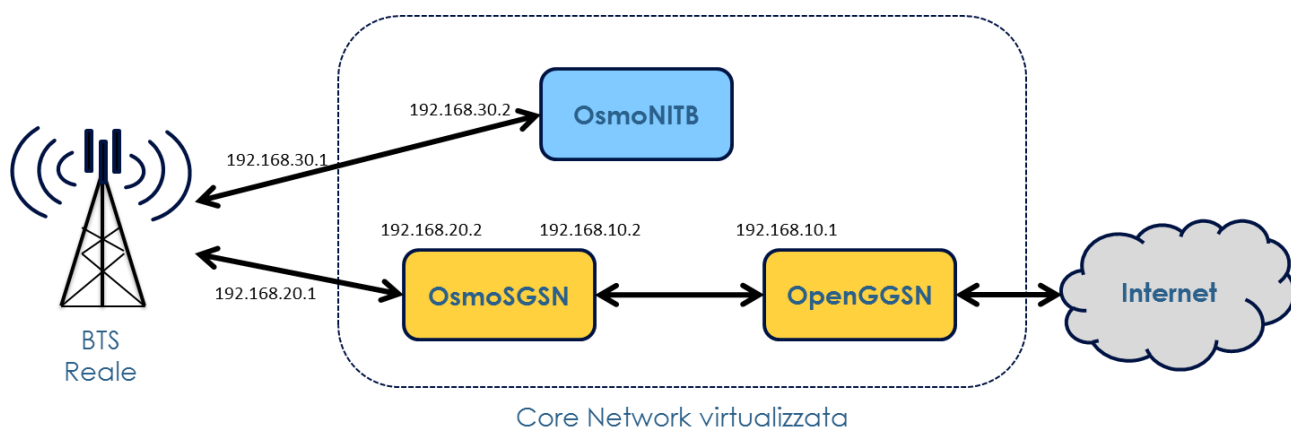


Figura 25: Architettura completa della rete

## BTS

Il progetto prevede l'utilizzo di una BTS reale, interfacciata alla Osmo-NITB e all'Osmo-SGSN, che acquisisca i segnali radio provenienti dai dispositivi mobili. Vale la pena evidenziare che le BTS supportate sono le seguenti: *BS11*, *nanoBTS*, *Ericsson\_RBS* e *Nokia\_Site\_family*. Nell'ambito di questo lavoro è stata esclusa la possibilità di utilizzare una BTS reale ed è stata valutata la fattibilità di utilizzo di una BTS simulata (*FakeBTS*) per effettuare il *testing* della *core network*.

All'interno del forum della community *Osmocom* è stata illustrata l'architettura della rete prevista, chiedendo chiarimenti sull'utilizzo della *FakeBTS* [vedi Bibliografia 5,6]. Si è evidenziato che l'intento era quello di utilizzare la *FakeBTS* per simulare delle richieste da parte dei dispositivi M2M in modo tale da verificare che la comunicazione tra i vari elementi di rete avvenga correttamente. È emerso che i vari elementi di *OpenBSC* sono stati creati per funzionare con *BTS* e *MS* reali e che la *FakeBTS* è stata pensata solamente per simulare malfunzionamenti.

Preso atto dell'impossibilità di utilizzare una BTS reale si è proceduto con l'installazione delle tre componenti Osmo-NITB, OsmoSGSN e OpenGGSN.

## VM-NITB

La *VM-NITB* possiede un'interfaccia IP verso la BTS. Per eseguire Osmo-NITB è necessario specificare un file di configurazione in cui sono descritti i parametri che caratterizzano la BTS utilizzata. Inoltre, sempre nel file di configurazione, è necessario abilitare la modalità *GPRS* inserendo l'indirizzo IP dell'interfaccia SGSN accessibile dalla *BTS*.

## VM-SGSN

La *VM-SGSN*, oltre all'interfaccia verso la *BTS*, ne possiede una verso la *VM-GGSN* che simula l'interfaccia *Gn/Gp* tra l'*SGSN* ed il *GGSN*. Per eseguire *Osmo-SGSN* bisogna specificare in un file di configurazione l'indirizzo IP dell'*SGSN* sull'interfaccia *Gn/GP* verso il *GGSN*, indirizzo IP del *GGSN* e l'indirizzo IP dell'*SGSN* verso la *BTS*.

## VM-GGSN

La *VM-GGSN*, oltre all'interfaccia verso la *VM-SGSN*, ne possiede una verso internet. Nel file di configurazione va specificato l'indirizzo IP dell'interfaccia *Gb* su cui il *GGSN* resterà in ascolto ed il pool d'indirizzi IP da utilizzare per le richieste di *PDP Context*.

### 7.2 Comunicazione tra le varie componenti

Non è stato possibile testare il corretto funzionamento di tutte le funzionalità che dovrebbero implementare la *VM-SGSN* e la *VM-GGSN* perché per fare ciò bisognerebbe avere una *BTS* che veicoli il traffico verso queste due componenti.

È stata testata la comunicazione, come si vede in Figura 26, tra le interfacce della *VM-SGSN* e della *VM-GGSN* utilizzando il *tool SGSNemu* che viene eseguito sulla *VM-SGSN*.

### SGSNemu

*SGSNemu* fa parte del progetto *OpenGGSN* ed implementa le interfacce *Gn/Gp* che vengono usate verso i *GGSN*. Questo tool implementa il protocollo *GTP* tra *SGSN* e *GGSN* e avvia uno scambio di richieste e risposte tra i due elementi per scopi di testing.

Lo scambio di messaggi è stato catturato con l'analizzatore di pacchetti *Wireshark* ed è mostrato in Figura 27. In primo luogo l'*SGSN* invia una *echo request* aspettando la *echo response* dal *GGSN* ed infine l'*SGSN* invia una *create PDP context request*, ricevendo una *create PDP context response* con cui il *GGSN* assegna l'indirizzo IP ed i parametri della *QoS*.

Questo *tool* è utilizzato soltanto per testare la comunicazione tra *SGSN* ed *GGSN* utilizzando il protocollo *GTP* e non implementa le funzionalità complete dell'*SGSN*.

Le funzionalità dell'*SGSN* sono implementate da *OsmoSGSN*. Eseguendo questo script sulla *VM-SGSN*, questa resta in ascolto in attesa di richieste da parte della *BTS*.

In ultima istanza ci si è concentrati sull'analisi del codice costituente i pacchetti software *OpenNITB*, *OsmoSGSN* ed *OpenGGSN* per valutare le possibili modifiche apportabili.

```

Using default DNS server
Local IP address is: 192.168.10.2 (192.168.10.2)
Remote IP address is: 192.168.10.1 (192.168.10.1)
IMSI is: 240010123456789 (0xf987654321010042)
Using NSAPI: 0
Using GTP version: 1
Using APN: internet
Using selection mode: 1
Using MSISDN: 46702123456

Initialising GTP library
openggsn[4007]: GTP: gtp_newgsn() started
Done initialising GTP library

Sending off echo request
Setting up PDP context #0
Waiting for response from ggsn.....

Received echo response
Received create PDP context response. IP address: 192.168.0.2

```

Figura 26: VM-SGSN

| No.   | Time     | Source            | Destination       | Protocol | Length | Info                                |
|---|----------|-------------------|-------------------|----------|--------|-------------------------------------|
| 2   | 0.000240 | CadmusCo_ab:2f:2f | CadmusCo_63:48:bc | ARP      | 60     | 192.168.1.1 is at 08:00:27:ab:2f:2f |
| 3   | 0.000247 | 192.168.1.2       | 192.168.1.1       | GTP      | 54     | Echo request                        |
| 4   | 0.001321 | 192.168.1.1       | 192.168.1.2       | GTP      | 60     | Echo response                       |
| 5   | 0.001465 | 192.168.1.2       | 192.168.1.1       | GTP      | 153    | Create PDP context request          |
| 6   | 0.001768 | 192.168.1.1       | 192.168.1.2       | GTP      | 128    | Create PDP context response         |
| ▶ Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.1.1 (192.168.1.1), Dst: 192.168.1.2 (192.168.1.2) |          |                   |                   |          |        |                                     |
| ▶ User Datagram Protocol, Src Port: gtp-control (2123), Dst Port: gtp-control (2123)          |          |                   |                   |          |        |                                     |
| ▼ GPRS Tunneling Protocol   |          |                   |                   |          |        |                                     |
| ▶ Flags: 0x32   |          |                   |                   |          |        |                                     |
| Message Type: Create PDP context response (0x11)  |          |                   |                   |          |        |                                     |
| Length: 78  |          |                   |                   |          |        |                                     |
| TEID: 0x00000001  |          |                   |                   |          |        |                                     |
| Sequence number: 0x0001   |          |                   |                   |          |        |                                     |
| Cause: Request accepted (128)   |          |                   |                   |          |        |                                     |
| Reordering required: False  |          |                   |                   |          |        |                                     |
| Recovery: 1   |          |                   |                   |          |        |                                     |
| TEID Data I: 0x00000001   |          |                   |                   |          |        |                                     |
| TEID Control Plane: 0x00000001  |          |                   |                   |          |        |                                     |
| Charging ID: 0x00000001   |          |                   |                   |          |        |                                     |
| ▶ End user address (IETF/IPv4) : 192.168.0.2  |          |                   |                   |          |        |                                     |
| ▶ Protocol configuration options  |          |                   |                   |          |        |                                     |

Figura 27: Traccia Wireshark

## 8 Modifica dell'HLR

L'elevato numero di dispositivi associati ad un singolo *subscriber* presenta la necessità di organizzare in maniera differente i registri di rete, in cui memorizzare i dati riguardanti sia il *subscriber* che le varie SIM dei dispositivi M2M ad esso associate. Sussiste infatti il problema dei numeri di telefono (*MSISDN*) che vengono assegnati alle SIM dei dispositivi M2M, nonostante questi non utilizzino la rete a circuito. Questo comporta uno spreco di numeri di telefono che può essere evitato per esempio assegnando un unico numero al *subscriber* ed effettuando un'identificazione dei dispositivi M2M, associati a quel *subscriber*, utilizzando solamente l'*IMSI*.

La modifica delle procedure relative alla bassa mobilità ed all'elevato traffico di segnalazione, ha un impatto su diverse componenti della rete, quali l'*SGSN*, il *GGSN*, l'*HLR*, la rete d'accesso ed i dispositivi M2M.

Data l'impossibilità di agire sulla rete d'accesso e sui dispositivi M2M ci si è concentrati sulla modifica dell'*HLR*, per far fronte al problema dell'elevato numero di dispositivi associati ad un singolo *subscriber* e dello spreco dei numeri di telefono.

È stato preso in esame il caso in cui un abbonato acquisti diversi sensori dotati di SIM che scambiano informazioni tramite la rete a pacchetto. Attualmente l'operatore deve predisporre un numero di telefono per ogni SIM e deve stipulare un contratto diverso per ciascuna di esse. In questo scenario nasce la necessità di organizzare e gestire i dati relativi al sottoscrittore e alle diverse SIM in maniera più efficiente. A tal proposito è possibile cambiare la logica con la quale vengono gestite queste informazioni, per esempio si può:

- Separare le informazioni del sottoscrittore da quelle delle SIM dei vari sensori.
- Associare ad un sottoscrittore più di una SIM.
- Rimuovere il numero di telefono (*MSISDN*) mantenendo solamente l'identificativo *IMSI*, consci del fatto che la comunicazione avviene esclusivamente sulla rete a commutazione di pacchetto.

Alla luce di queste considerazioni è stata pensata una modifica da apportare all'*Home Location Register (HLR)* che in una rete GSM/GPRS mantiene le informazioni riguardanti i *subscriber* autorizzati ad accedere alla rete. Alcune delle informazioni contenute al suo interno sono le seguenti: l'*IMSI* che identifica la scheda SIM e l'*MSISDN* che rappresenta il numero di telefono.

## 8.1 HLR originale

L'HLR utilizzato nel progetto *OpenBSC* è un *Data Base SQLite*, di cui si mostra una parte della struttura in Figura 28.

| Subscriber |
|------------|
| Id         |
| Name       |
| MSISDN     |
| IMSI       |
| TIMSI      |
| Expire_lu  |

Figura 28: Schema HLR originale: tabella subscriber

Oltre alla tabella *Subscriber*, tipica dell'HLR tradizionale, sono presenti anche le tabelle che mantengono le informazioni relative ad altri registri presenti nella core network, quali *VLR*, *AUC* ed *EIR*. La versione originale dell'HLR prevede la corrispondenza univoca tra numero di telefono ed *IMSI*, ed è quindi presente una tabella *Subscriber* che contiene tutte le informazioni che associano un utente ad un unico numero di telefono *MSISDN* ed un unico *IMSI*.

## 8.2 HLR modificato

Nella versione modificata, come illustrato nella Figura 29, la tabella *Subscriber* è stata separata in due tabelle: *Subscriber* e *Sim\_m2m*. In questo modo nella prima tabella rimangono le informazioni sul sottoscrittore (nome e numero di telefono), mentre nella seconda tabella sono presenti le informazioni sulle *SIM M2M* (*IMSI*, *TIMSI* ecc.) associate a ciascun sottoscrittore.

Per rendere operativo questo cambiamento è stato necessario intervenire sui file che compongono il pacchetto *Osmo-NITB*, scritti in *linguaggio C*. In primo luogo sono stati modificati i file relativi alla creazione delle tabelle e all'inizializzazione del *DB*. Successivamente sono stati modificati i metodi per il popolamento delle tabelle e le altre operazioni che si interfacciano con il *DB*.

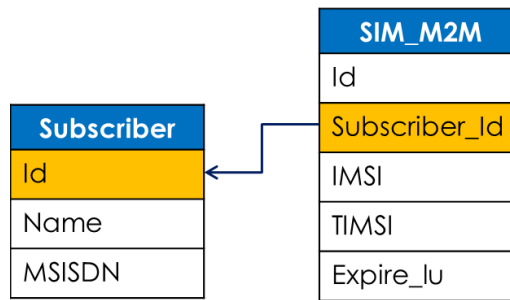


Figura 29: Schema HLR modificato: tabelle subscriber e SIM\_M2M

Il file sorgente su cui sono state apportate tutte le modifiche è nominato *db.c* e si trova all'interno della libreria *libmsc* presente all'interno del pacchetto *openbsc* :

*openbsc/openbsc/src/libmsc*

La libreria *libmsc* contiene anche altri file, tra cui quelli relativi all'implementazione dei protocolli GSM sull'interfaccia *Abis* tra la BTS e la BSC, i protocolli di autenticazione relativi al registro AUC e il codice per la gestione delle richieste verso l'MSC.

Inoltre tale libreria contiene il file *vty\_interface\_layer3.c* per la gestione dell'HLR tramite l'interfaccia telnet. Le modifiche apportate a questo file vengono descritte nella sezione successiva.

### Interfaccia telnet

Utilizzando il protocollo telnet, è possibile interrogare e/o modificare l'HLR, tramite la porta 4242 della VM sulla quale è installata la *OsmoNITB*. Per abilitare la modifica bisogna passare dalla modalità *read-only* a quella *read-write*, per fare ciò è necessario digitare il comando *enable*. Fatto ciò è possibile eseguire i seguenti comandi:

- ***subscriber imsi 012340123456789 authorized 1*** che consente all'utente con quell'IMSI di accedere alla rete.
- ***subscriber imsi 012340123456789 extension 5555*** che assegna il numero di telefono 5555 all'utente con quel specifico IMSI.
- ***subscriber imsi 012340123456789 name Peter*** che associa il nome Peter all'utente con l'IMSI specificato.
- ***show subscriber imsi 012340123456789*** che mostra tutte le informazioni di quel specifico utente.

Contestualmente alla modifica strutturale dell'HLR si è provveduto ad aggiornare le operazioni eseguibili tramite interfaccia Telnet. In questo caso la modifica ha interessato i file *db.c* e *vty\_interface\_layer3.c* responsabili rispettivamente delle query al database e dei metodi invocabili da linea di comando tramite interfaccia Telnet. È stata aggiunta la

possibilità di inserire nuove SIM M2M associabili ad un *subscriber*. Sono stati aggiunti i seguenti comandi:

- **subscriber id [ID] add-sim [IMSI]** che aggiunge una SIM M2M con l'IMSI [IMSI] all'utente identificato con *id* [ID].
- **subscriber id [ID] show-sim** che mostra a video tutti gli IMSI delle SIM M2M associate all'utente identificato con *id* [ID].

In Figura 30 è mostrato un esempio in cui vengono aggiunte SIM M2M, identificate dai rispettivi *IMSI*, all'utente identificato con *id* 2. Nella tabella *SIM\_M2M* è presente la chiave esterna *subscriber\_id* che referencia l'*id* 2 della tabella *subscriber*.

Le tabelle mostrate sono relative al database nominato *hlr.sqlite3*, che viene creato all'inizio dell'esecuzione di *osmo-nitb* e su cui agiscono le funzioni del file *db.c* che è stato modificato.

Comando per assegnare le **SIM**  
all'utente con **id 2**

```
OpenBSC# subscriber id 2 add-sim 999999999
OpenBSC# subscriber id 2 add-sim 888888888
OpenBSC# subscriber id 2 add-sim 777777777
```

L'utente con id 2 ha un solo MSISDN  
(extension)

| Table: Subscriber |                |           |  |
|-------------------|----------------|-----------|--|
| id                | name           | extension |  |
| 1                 | Luigi Stampati | 24657     |  |
| 2                 | Calogero Cann  | 49952     |  |

All'utente con id 2 vengono associati  
4 IMSI

| Table: Sim_m2m |               |               |               |           |    |  |
|----------------|---------------|---------------|---------------|-----------|----|--|
| id             | subscriber_id | created       | updated       | imsi      | au |  |
| 1              | 1             | 2014-09-26 10 | 2014-09-26 10 | 111111111 |    |  |
| 2              | 2             | 2014-09-26 10 | 2014-09-26 10 | 222222222 |    |  |
| 3              | 3             | 2014-09-26 10 | 2014-09-26 10 | 999999999 |    |  |
| 4              | 4             | 2014-09-26 10 | 2014-09-26 10 | 888888888 |    |  |
| 5              | 5             | 2014-09-26 10 | 2014-09-26 10 | 777777777 |    |  |

Figura 30: SIM M2M associate ad un subscriber tramite l'interfaccia Telnet. Il DB è visualizzato utilizzando il tool *sqlitebrowser*

## Conclusioni

Questo lavoro interpreta una possibile declinazione del paradigma NFV, intesa come possibilità d'implementare funzioni e componenti di rete, che finora richiedevano l'impiego di hardware dedicato, in ambiente software utilizzando macchine virtuali.

L'approfondimento del progetto *OpenBSC* ha mostrato che esiste un grande interesse intorno alla tematica della “*virtualizzazione*”, non soltanto da parte dei tradizionali *vendor* ma anche in ambito open source.

L'impiego di componenti software open source ha permesso la modifica e l'adattamento delle funzionalità di rete alle caratteristiche del *Machine to Machine*, consentendo di concentrare le attività sullo sviluppo software senza la necessità di agire anche sull'hardware.

Nel presente lavoro è stato modificato l'HLR, componente della core network deputata alla gestione dei dati degli utenti e delle relative SIM, per affrontare il problema dello spreco di numeri telefonici associati a SIM M2M. La nuova configurazione proposta permette di gestire separatamente le informazioni relative al subscriber e quelle relative alle SIM M2M, fornendo la possibilità di associare più SIM M2M ad uno stesso subscriber ed identificando tali SIM solo tramite IMSI.

Utilizzando questo lavoro come base di partenza si potrebbe proseguire testando la comunicazione tra i vari elementi della core network, servendosi di una BTS reale compatibile con il progetto OpenBSC. Questo step permetterebbe di effettuare un'analisi quantitativa sulle prestazioni ottenibili dalla rete virtualizzata e di verificarne l'interoperabilità con la rete mobile già esistente. Un ulteriore avanzamento potrebbe consistere nella modifica di ulteriori elementi e/o procedure, per realizzare una rete virtualizzata ad-hoc per il traffico M2M che consentirebbe di non sprecare le risorse di rete tradizionale e avere a disposizione un ambiente di testing separato per applicazioni M2M.



## Bibliografia

[1] ETSI GS NFV 001 V1.1.1 2013-10: Network Functions Virtualization (NFV); Use Cases

[2] AT&T e Carbon War Room: “Machine to Machine Technologies: Unlocking the potential of a \$1 trillion Industry”

[3] Visual Networking Index Forecast CISCO:

[http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/ip-ngn-ip-next-generation-network/white\\_paper\\_c11-481360.html](http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/ip-ngn-ip-next-generation-network/white_paper_c11-481360.html)

[4] 3GPP TR 23.888 V2.0.0 (2012-08). 3rdGeneration Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; System Improvements for Machine-Type Communications (Release 11).

[5] <http://lists.osmocom.org/pipermail/openbsc/2014-September/006488.html>

[6] <http://lists.osmocom.org/pipermail/openbsc/2014-September/006495.html>

## Appendice

### Guida installazione OpenBSC

In questa sezione vengono descritti i passi da seguire per compilare ed installare le librerie e i componenti del progetto openBSC.

Tali operazioni sono eseguite su sistema operativo GNU/Linux.

#### Fase preliminare

Estrarre le cartelle contenute nel file compresso “progetto openBSC.tar.gz”.

A questo punto è possibile accedere a cinque cartelle:

- libosmocore
- libosmo-abis
- libosmo-netif
- openbsc
- openggsn

openbsc contiene il software relativo ai componenti osmo-nitb e osmo-sgsn, openggsn contiene quello relativo al ggsn.

#### Dipendenze

Scaricare e installare le seguenti dipendenze:

- libdbi0-dev
- libdbd-sqlite3
- libortp-dev
- build-essential
- libtool
- autoconf
- automake
- git-core
- pkg-config
- libdbi0

Si può effettuare tale operazione eseguendo il seguente comando sul terminale:

```
sudo apt-get install libdbi0-dev libdbd-sqlite3 build-essential libtool autoconf  
automake git-core pkg-config libortp-dev
```

### **Installazione libosmocore**

Cambiare cartella corrente in quella corretta:

```
cd libosmocore
```

Effettuare il “rebuild” degli script di configurazione:

```
autoreconf -fi
```

Eseguire gli script di configurazione:

```
./configure
```

Compilare il software corrente:

```
make
```

Installare la libreria:

```
sudo make install  
ldconfig
```

### **Installazione libosmo-abis**

Cambiare cartella corrente in quella corretta:

```
cd libosmo-abis
```

Effettuare il “rebuild” dello script di configurazione:

```
autoreconf -fi
```

Eseguire lo script di configurazione:

```
./configure
```

Compilare il software corrente:

```
make
```

Installare la libreria:

```
sudo make install
```

*ldconfig*

### **Installazione libosmo-netif**

Cambiare cartella corrente in quella corretta:

*cd libosmo-netif*

Effettuare il “rebuild” dello script di configurazione:

*autoreconf -fi*

Eseguire lo script di configurazione:

*./configure*

Compilare il software corrente:

*make*

Installare la libreria:

*sudo make install*

*ldconfig*

### **Installazione OpenBSC**

Cambiare cartella corrente in quella corretta:

*cd libosmo-abis*

Effettuare il “rebuild” dello script di configurazione:

*autoreconf -fi*

Impostare la variabile d'ambiente:

*export PKG\_CONFIG\_PATH=/usr/local/lib/pkgconfig*

Eseguire lo script di configurazione:

*./configure*

Compilare il software corrente:

*make*

## **OpenGGSN**

Cambiare cartella corrente in quella corretta:

*cd openggsn*

Compilare ed eseguire lo script di configurazione

*autoreconf*

*automake --add-missing*

*autoreconf*

*autoconf*

*automake*

*./configure --prefix=/usr/local*

*make -j 2*

*sudo make install*

A questo punto è possibile utilizzare I seguenti componenti software:

- *ggsn*
- *osmo-sgsn*
- *osmo-nitb*

## **File di configurazione**

Prima dell'esecuzione bisogna preparare i file di configurazione. L'indirizzamento delle interfacce è quello specificato in figura 1.

La configurazione è stata realizzata come se si avesse a disposizione la BTS modello *nanobts*.

## **osmo-nitb**

Nel file di configurazione bisogna specificare i parametri relativi alla BTS usata e gli indirizzi di rete. Nella seguente directory sono presenti alcuni semplici file di configurazione di esempio relativi ad alcuni modelli di BTS:

*/openbsc/openbsc/doc/examples/osmo-nitb*

Inserire nel file le seguenti righe per abilitare l'uso della rete gprs:

```
gprs mode gprs  
  
gprs routing area 0  
  
gprs cell bvci 2  
  
gprs nsei 101  
  
gprs nsvc 0 nsvci 101  
  
gprs nsvc 0 local udp port 23000  
  
gprs nsvc 0 remote udp port 23000  
  
gprs nsvc 0 remote ip 192.168.20.2
```

l'indirizzo IP specificato dopo *gprs nsvc 0 remote* è quello dell'interfaccia del SGSN verso la BTS. In una rete completa la BTS richiede tale indirizzo alla BSC (osmo-nitb) e successivamente lo utilizza per comunicare con il SGSN.

Allocare uno o più time slot per la comunicazione a pacchetto:

```
phys_chan_config PDCH
```

## **osmo-sgsn**

Un file di configurazione di esempio, denominato *osmo-sgsn.cfg* , è presente nella seguente cartella:

*openbsc/openbsc/doc/examples/osmo-sgsn*

Inserire gli indirizzi locali e remoti:

```
gtp local-ip 192.168.10.2  
ggsn 0 remote-ip 192.168.10.1
```

*gtp local-ip* è l'indirizzo IP del SGSN sull'interfaccia verso il GGSN; *ggsn 0 remote-ip* è l'indirizzo IP del GGSN sull'interfaccia verso il SGSN.

Inserire l'indirizzo e la porta dell'interfaccia verso la BTS:

```
encapsulation udp local-ip 192.168.20.2
encapsulation udp local-port 23000
```

La porta di default è la 23000, l'indirizzo IP deve essere lo stesso inserito nel file di configurazione relativo a osmo-nitb.

## **osmo-ggsn**

Un file di configurazione di esempio, denominato *ggsn.conf*, è presente nella seguente cartella:

```
openggsn/examples
```

Configurare l'interfaccia relativa al tunnel GTP verso il SGSN. L'indirizzo IP specificato deve corrispondere a quello inserito nella riga *ggsn 0 remote-ip* del file di configurazione dell'SGSN:

```
TAG: listen
# Specifies the local IP address to listen to
listen 192.168.1.129
```

Specificare il pool di indirizzi IP ed opzionalmente il DNS da fornire ai dispositivi mobili che richiedono l'accesso alla rete a pacchetto:

```
TAG: dynip
# Dynamic IP address pool.
# Used for allocation of dynamic IP address when address is not given
# by HLR.
# If this option is not given then the net option is used as a substitute.
dynip 192.168.254.0/24

# TAG: pcodns1/pcodns2
# Protocol configuration option domain name system server 1 & 2.
pcodns1 208.67.222.222
pcodns2 208.67.220.220
```

## **Esecuzione**

È sufficiente eseguire i seguenti comandi sulle rispettive macchine virtuali:

```
ggsn -c openggsn/examples/ggsn.conf
```

```
osmo-nitb -c /openbsc/openbsc/doc/examples/osmo-nitb/nanobts/openbsc.cfg  
osmo-sgsn -c openbsc/openbsc/doc/examples/osmo-sgsn/osmo-sgsn.cfg
```

L'opzione `-c` è necessaria per specificare il file di configurazione da usare. Nel caso di `osmo-nitb` è stato utilizzato, a titolo di esempio, il file relativo al modello di BTS chiamato *nanobts*